سلسلة تقدمات فى دراسات الخضر

- ٥ -

تقدمات فى دراسات
تكنولوجيا إنتاج الخضر المحمية

تأليف

أ.د. أحمد عبد المنعم حسن

أستاذ الخضر المتفرغ

كلية الزراعة – جامعة القاهرة

٢٠٢٣

تقدمات فى دراسات تكنولوجيا إنتاج الخضر المحمية

حسـن، أحمد عبد المنعم
تقدمات فى دراسـات تكنولوجيا إنتاج محاصيل الخضر المحمية
تأليف: أحمد عبد المنعم حسـن.
ط١.- القاهرة: - ٢٠٢٣ م - ١٤٤٤ هـ
١١١ ص, ١٧ × ٢٤- (سلسلة تقدمات فى دراسات الخضر).
إنتاج الخضر
فسيولوجيا الخضر
العنوان

الطبعة الأولى

١٤٤٤هـ - ٢٠٢٣م

المقدمة

كما يُستدل من عنوان هذا الكتاب، فإنه يركز على التقدمات فى دراسات تكنولوجيا إنتاج الخضر المحمية؛ ولذا.. فإننا تجنبنا أى تكرار لِما سبق أن قدمناه حول هذا الموضوع فى كتب سابقة، والتى كان منها:

- أساسيات إنتاج الخضر وتكنولوجيا الزراعات المكشوفة والمحمية (الصوبات) (حسن ١٩٨٨).
- تكنولوجيا الزراعات المحمية (حسن ١٩٩٩).
- أصول الزراعة المحمية (حسن ٢٠١٢).

ويمكن الإطلاع على تلك الكتب وعلى غيرها من مؤلفاتى العلمية بالرجوع إلى صفحتى على جوجل:

https://sites.google.com/view/prof-ahmed-hassan-site/home

كما أُشير فى هذا المقام إلى موسوعة السعدون "الزراعة المحمية لمحاصيل الخضر"، والتى اشتملت على ثلاثة كتب: "أساسيات الإنتاج فى البيوت المحمية" (السعدون ٢٠١٩ أ)، و"تطبيقات إنتاج محاصيل الخضر فى البيوت المحمية" (السعدون ٢٠١٩ ب)، و "الزراعة المحمية المستدامة والتطورات الحديثة فى نظم الزراعة فى البيوت المحمية" (السعدون ٢٠١٩ ج).

هذا.. وقد تناول Janick & Paris (٢٠٢٢) التاريخ القديم لمنشآت الزراعات المحمية منذ عصر الرومان، وبخاصة الزراعات اللاأرضية. أما تاريخ الزراعة فى البيوت المحمية ومنشآتها، فيما يتعلق بتصميماتها، وأنواع أغطيتها، ووسائل تبريدها وتدفئتها وإضاءتها، وكذلك أنواع المزارع المائية، فقد تناولها Nemali (٢٠٢٢) فى مقال مرجعى شامل.

ومع مزيد من التطور فى التحكم البيئى، ظهر الاتجاه نحو إجراء الزراعات المحمية تحت ظروف التحكم البيئى الكامل. وكان هذا الأمر يستخدم — فقط — فى

الدراسات الفسيولوجية، ولكن اكتُشف أن توفير بيئات متحكم فيها كلية حفَّزت كثيرًا من كمية المحصول. وقد تناول Mitchell (٢٠٢٢) تاريخ تطور تقنيات هذا النوع من التحكم البيئى فى الزراعة.

أ.د. احمد عبدالمنعم حسن

محتويات الكتاب

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

الفصل الخامس

صفحة

صفحة

الفصل الأول

الطماطم

تُحدث البيوت المحمية تغيرات بيئية كثيرة داخل البيت المحمىّ؛ بما يجعله أكثر مناسبة لإنتاج الطماطم. ففى الأراضى الرملية فى المناطق تحت الاستوائية الرطبة — كما فى فلوريدا — أدى اللجوء إلى الزراعة فى البيت المحمىّ إلى زيادة طول مدة النمو والإنتاج من خلال الحدِّ من شدة الإصابة بالأمراض؛ الأمر الذى قد يكون مرده إلى الخفض الواضح الذى يحدث فى فترة ابتلال الأوراق خلال الأشهر المطيرة من موسم الزراعة. ولقد أدى التطعيم على الأصل Multifor إلى خفض كثافة نيماتودا تعقد الجذور فى التربة بنسبة ٨٨٪، وكذلك شدة أعراض الإصابة بالعقد الجذرية. ولقد كانت كلتا الصفتين أوضح فى الصوبة عما فى الحقل المفتوح، وربما كان مرد ذلك إلى ارتفاع حرارة التربة فى الصوبة بنحو ٢ ْم خلال النهار أثناء الجزء المبكر من موسم النمو، ولكنها انخفضت بعد تغطية الصوبة بالقماش المظَلِّل shadecloth. ومقارنة بالحقل المكشوف، فإن الاشعاع الشمسى انخفض بمقدار ٢٣٪ فى الصوبة قبل وضع القماش المظَلِّل، وبمقدار ٥١٪ بعد وصفه. ومع ذلك فإن ذلك الخفض فى شدة الإشعاع الشمسى لم يحد من إنتاجية الطماطم، نظرًا لزيادة شدة الإضاءة فى ظروف فلوريدا. وقد انخفض متوسط سرعة الرياح فى الصوبة بمقدار ٥٧٪؛ الأمر الذى يساعد — مع الخفض فى شدة الإضاءة — إلى الحدِّ من الشدِّ البيئى خلال الصيف، وكذلك الحدِّ من النتح والتبخر evapotranspiration داخل الصوبة (Frey وآخرون ٢٠٢٠).

ولقد أظهرت دراسة قُورن فيها إنتاج الطماطم الحقلى بالإنتاج فى نُظم مختلفة من الزراعات المائية زيادة كفاءة استخدام المياه وزيادة محتوى الليكوبين والبيتاكاروتين بالثمار فى الزراعات المائية عنها فى الحقلية (Verdoliva وآخرون ٢٠٢١).

أغطية البيوت المحمية

أنواع الأغطية

أغطية تسمح بانتشار الضوء النافذ منها أو تسمح بنفاذ موجات معينة دون غيرها

أدى استعمال أغطية تجعل الضوء الذى ينفذ منها منتشرًا diffuse light plastic film إلى تحسين مستمر فى توزيع الضوء فى الفراغات الرأسية والأفقية بين النموات الخضرية للطماطم، مما حسَّن من استقبال النباتات للضوء وتجانس توزيعه. كما أدى استعمال هذا الغطاء إلى خفض حرارة الهواء وحرارة الأوراق فى منتصف النمو الخضرى وفى أعلاه خلال فصل الصيف، مما حفَّز من عملية البناء الضوئى، وأدى إلى زيادة محصول الثمار، الأمر الذى ازداد بزيادة قدرة الغطاء على نشر الضوء من ٢٠٪ إلى ٢٩٪ (Zheng وآخرون ٢٠٢٠).

وقد دُرس تأثير ٦ أنواع من أغطية البيوت المحمية (قياسى وثابت ضد الأشعة فوق البنفسجية ultraviolet-stabilized poly film، وناشر diffuse poly، وشفاف clear poly، وحاجز للأشعة فوق البنفسجية أ، وب UV-A/B blocking poly، وقياسى + ٥٥٪ تظليل بقماش تظليل shade، وإزالة للـ standard poly قبل أسبوعين من بداية الحصاد لمحاكاة النفق المتحرك movable tunnel).. دُرس تأثيرها على بيئة البيوت المحمية ونمو ومحصول الطماطم المزروعة صيفًا والخس المزروع أثناء الربيع والخريف. ولقد لوحظت زيادات فى كلٍّ من درجة الحرارة والأشعة النشطة فى البناء الضوئى خلال الربيع والصيف مقارنة بالخريف. وازدادت الحرارة صيفًا بدرجة أكبر تحت الغطاء الشفاف مقارنة بالأغطية الأخرى. وأحدث غطاء التظليل خفضًا فى محصول الطماطم مقارنة بالأغطية الأخرى، وهى التى كانت متماثلة فى تأثيرها، وكان أعلى محصول (٧,٣٩ كجم/نبات) تحت الغطاء الشفاف. وأظهرت نباتات الخس الأحمر النامية فى الربيع محصولاً أعلى جوهريًا تحت الأغطية الشفافة، والقياسية، والناشرة

للضوء، عما تحت المتحركة أو التظليل، بينما كان تأثير الأغطية أقل على محصول الخس النامى فى الخريف (Gude وآخرون ٢٠٢٢).

أغطية تتحلل بيولوجيًّا

جَرَت محاولات لاستخدام أغشية تتحلل بيولوجيًّا وتُصنَّع من النشا ومصادر بروتينية كالجيلاتين كبديل لاستخدام البلاستك فى الزراعة، خاصة وأن مصادرها وفيرة. وقد تناول تلك المحاولات Rosseto وآخرون (٢٠١٩) فى مقال مرجعى.

التأثير على المحصول والجودة وإنتاج مركبات الأيض الثانوية الهامة

تباينت أصناف الطماطم المختبرة فى محتواها الفينولى الكلى، لكن ذلك المحتوى الكلى لم يتأثر بنوع غطاء البيت المحمى، ومع ذلك فقد تأثرت المكونات الفينولية الفردية الرئيسية والمركبات، مثل: الـ chlorogenic acid، والـ hydroxycinnamic acid/rutin، و caffeic acid، و ferulic acid، و coumaric acid، وكذلك المركبات الفلافونويدية مثل الـ myricetin، والـ quercetin، والـ naringenin.. تأثرت معظم تلك المكونات بالصنف ونوع الغطاء، وكان تأثر الكاروتينويدات الكلية والليكوبين جوهريًّا بنوع الغطاء (Ahmadi وآخرون ٢٠١٨).

وعندما دُرس تأثير أنواع مختلفة من أغطية البوليثيلين للبيوت المحمية (S-PE، و 7-PE، ID-PE) على صفات جودة ثمار الطماطم.. وُجد أن محتوى التوكوفيرول tocopherol كان الأعلى عند استعمال غطاء ID-PE، بينما كان محتوى السكر (الفراكتوز والجلوكوز) الأعلى عند استعمال غطاء S-PE. وكان محتوى الأحماض العضوية الأعلى فى القطفات المبكرة، وخاصة عند استعمال غطاء 7-PE، و S-PE، بينما انخفض المحتوى تدريجيًّا فى القطفات التالية. وبينما كانت استجابة قدرة تضادية الأكسدة متباينة حسب نوع الغطاء وموعد الحصاد، فإن محتوى البيتاكاروتين، والكاروتينويدات، والكلوروفيل كان الأعلى عند استعمال غطاء 7-PE (Petropoulas وآخرون ٢٠١٩).

التحكم فى درجة الحرارة

التدرج الرأسى فى درجة الحرارة

يمكن أن تتسبب أجهزة التبريد التى توضع فى الجزء السفلى من البيت المحمى فى إحداث تدرج فى درجة الحرارة يمكن أن يزيد عن ٥ْم عند زيادة شدة الإشعاع الشمسى. وعندما كان البيت المحمى نصف مغلق semi-closed، فإن التدرج كان ملحوظًا خلال الفترة من يونية إلى سبتمبر؛ حيث بلغ الفرق فى درجة الحرارة بين الجزء السفلى من النمو الخضرى وقمته > ٢ْم فى ٥٥٪ من الوقت، و> ٥ْم فى ٢٠٪ من الوقت. وعلى الرغم من ذلك فإن النمو النباتى ومحصول الثمار لم يتأثرا، كما لم يتأثر تكوين الأوراق والعناقيد الزهرية بالمعاملات (وجود تدرج رأسى فى درجة الحرارة أو عدم وجوده)؛علمًا بأن حرارة الهواء عند قمة النمو الخضرى كانت متقاربة بين المعاملات. هذا.. ولم يكن للتدرج الرأسى فى درجة الحرارة أى تأثير سوى فى إبطاء معدل نمو الثمار فى الجزء السفلى من النمو الخضرى. وترتب على ذلك زيادة طول المدة بين تفتح الأزهار وحصاد الثمار عندما وُجد تدرج رأسى فى درجة الحرارة، مع زيادة فى متوسط وزن الثمرة صيفًا، إلاّ إن محصول الثمار خلال الموسم لم يتأثر. ولتلك النتائج أهميتها عند تصميم نظم التدفئة والتبريد فى البيوت المحمية (Qian وآخرون ٢٠١٥).

تأثير التظليل

مقارنة بعدم التظليل.. أنتجت الطماطم النامية فى تظليل بنسبة ٥٠٪ محصولاً مماثلاً ونموًا خضريًّا (طازجًا وجافًّا) كما فى نباتات المقارنة. كذلك قلل التظليل بنسبة ٥٠٪ من عدد ووزن الثمار غير الصالحة للتسويق. أما التظليل بنسبة ٧٠٪ فإنه قلل المحصول. وأدى التظليل بمستويه إلى خفض حرارة الأوراق (Masabani وآخرون ٢٠١٦).

وفى دراسة عن تأثير التظليل بقماش التظليل shade cloth على محصول وجودة ثمار الطماطم فى البيوت المحمية، وُجد أن التظليل إلى ٦٠٪ إضاءة أثَّر سلبيًّا على المحصول عندما كان التسميد الآزوتى بمستوى ١٤ مللى مول نيتروجين فى المحصول المغذى، لكن

المستويات الأقل من النيتروجين (٣، و٧ مللى مول) عوضت التأثير السلبى للتظليل. ولم يؤثر التظليل على تركيز السكريات بالثمار، ولكنه قلل من محتوى المركبات الفينولية وفيتامين ج. وبالمقارنة.. فإن خفض جرعة النيتروجين أدت إلى زيادة تركيز المركبات الفينولية عند ١٠٠٪ إضاءة، وإلى زيادة فيتامين ج بالتظليل وبدونه. وأدى التظليل إلى خفض تركيز البيتاكاروتين فى وجود أعلى تركيز من النيتروجين (١٤ مللى مول). أما تركيز الليكوبين فقد ازداد بالتظليل، ولم يؤثر خفض جرعة النيتروجين مع التظليل على تركيز أى من البيتاكاروتين أو الليكوبين بالثمار (Hernández وآخرون ٢٠١٩).

وجدير بالذكر أن التظليل بشباك تختلف فى ألوانها يؤثر فى خصائص نمو نباتات الطماطم ومحصولها وجودة ثمارها حتى مع تشابه ما تنفذه من إشعاع نشط فى البناء الضوئى. فلقد وجد أن النباتات التى نمت تحت شباك حمراء كانت أطول وبمساحة ورقية أكبر وبنسبة أعلى من النمو الخضرى إلى الجذور. وأدت زيادة نسبة الضوء الأزرق إلى الأحمر النافذ من الشباك إلى الحد من النمو والمساحة الورقية، مع تحفيز الإنتاج المبكر للبراعم الزهرية. ولقد حسَّنت النسبة المنخفضة من الضوء الأزرق إلى الأحمر من جودة ثمار الطماطم بزيادة حجمها، ومحتواها من السكر وخفض محتواها من الأحماض (زيادة نسبة السكر إلى الأحماض) (Thwe وآخرون ٢٠٢٠).

التحكم فى تحريك الهواء حول النباتات

أدى تحريك الهواء حول شتلات الطماطم بسرعة ٠,٦ م/ثانية إلى زيادة صلابة ومرونة قاعدة ساق النبات، وكانت العقدة الأولى أعلى جوهريًّا عما فى شتلات الكنترول التى لم تأخذ هذه المعاملة، وكان مرد ذلك إلى تحسين تحريك الهواء للبيئة المحيطة بالنباتات microenvironment، وتحفيز النشاط الفسيولوجى للبادرات؛ ومن ثم تحسين نموها (Li وآخرون ٢٠٢٠).

التحكم فى الإضاءة

تأثير شدة الإضاءة على الشتلات

دُرس تأثير شدة إضاءة تباينت من ٥٠ إلى ٥٥٠ ميكرومول/م^{٢} فى الثانية على نمو شتلات الطماطم وكفاءتها فى توزيع ناتج البناء الضوئى، ووُجد أن إضاءة بشدة قدرها

٣٠٠ ميكرومول/م[٢] فى الثانية كانت الأعلى جوهريًّا فى كل من الوزن الجاف ودليل الجودة health index (دليل الجودة = (قطر الساق/طول الساق) × الوزن الجاف) عما فى المعاملات الأخرى. كذلك وُجد عند دراسة انتقال الكربون[١٤] C^{14}-labelled — المعامل به لمدة يومين — أن شتلات هذه المعاملة كانت الأقل فى محتواها من ذلك الكربون (٣١,٤٥٪)، وكان توزيع ناتج البناء الضوئى photosynthate distribution الأكثر مناسبة (He وآخرون ٢٠١٩).

تأثير الإضاءة فى مستويات مختلفة من النمو النباتى

عندما استُخدمت لمبات LEDs (وهى الـ light-emmitting diodes التى لا تضر بالنباتات إذا لامستها) فى توفير إضاءة لنباتات الطماطم ازداد المحصول بنفس الدرجة عندما كانت الإضاءة قمية أو فى مستوى النباتات، مقارنة بما حدث فى نباتات الكنترول (Gómez & Mithchell ٢٠١٦).

وعند انخفاض شدة الإضاءة فى الزراعة الكثيفة للطماطم وحيدة العنقود single-truss فى البيوت المحمية، هل يكون من الأفضل توفير إضاءة إضافية تحت مستوى النمو الخضرى، أم فى منتصفه؟، وعندما دُرس هذا الأمر وجد أن كلتا الطريقتين للإضاءة الإضافية أدت إلى تحسين نشاط البناء الضوئى، والنمو النباتى، وإنتاج الثمار، ولكن الإضاءة السفلية أحدثت زيادة أكبر فى المحصول، بينما أحدثت الإضاءة الإضافية فى مستوى النمو الخضرى زيادة فى محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية (Jiang وآخرون ٢٠١٧).

تأثير الإضاءة ليلاً

عندما عُرِّضت نباتات الطماطم للضوء لمدة ١٥ دقيقة كل ساعتين ليلاً حدثت زيادة فى محصول الثمار بنسبة ١٨٪، كذلك ازدادت الكتلة البيولوجية للثمار فى العنقود الواحد بمقدار ٢٨٪ مقارنة بما حدث فى عنقود ثمار مماثل فى نباتات الكنترول. وأيضًا أدت معاملة الإضاءة كل ساعتين أو أربع ساعات إلى زيادة تركيز الليكوبين؛ مما أدى

إلى زيادة نسبة الثمار المكتملة النمو التى تُحصد من النبات. وفى مقابل ذلك حدث انخفاض فى تركيز المواد الصلبة الذائبة والأحماض الأمينية الحرة، وإلى انخفاض فى محتوى مضادات الأكسدة الذائبة (مثل حامض الأسكوربيك والجلوتاثيون)، وكذلك فى تركيز حامضى الستريك والماليك (Grozeff وآخرون ٢٠١٦).

وفى دراسة أخرى.. وُجد أن قطع الليل بإضاءة مستمرة أو متقطعة — مع المحافظة على فترة ظلام كلية يومية مدتها سبع ساعات — لم يكن مؤثرًا على نمو أو محصول الطماطم فى الزراعة المحمية (Klaring & Ramirez ٢٠١٨).

وعندما عُرِّضت بادرات وشتلات الطماطم النامية فى ظروف ١٢ ساعة إضاءة، و١٢ ساعة ظلام .. عندما عُرِّضت خلال فترة الظلام للضوء لمدة صفر أو أربع أو ثمانى أو اثنتا عشرة ساعة (أى عُرِّضت لإضاءة مستمرة) من لمبات اللِّد LED مع استمرار التجربة لمدة أربعة أسابيع، وُجد أن البادرات التى عُرِّضت للضوء ليلاً لمدة أربع أو ثمانى ساعات كانت أفضل من بادرات الكنترول وتلك التى عُرِّضت للضوء لمدة ١٢ ساعة. ولقد راكمت البادرات التى عُرِّضت للضوء لمدة ثمانى ساعات كتلة بيولوجية أكبر فى الساق وليس فى الأوراق، وكان الوزن الجاف لسيقانها أكبر وسيقانها أكثر وزنًا وطولاً، إلاّ إن المساحة الورقية فيها كانت أقل، وكذلك الوزن الجاف للأوراق. ولقد كانت بادرات معاملة التعريض للضوء لمدة ٤ ساعات أكبر وأوراقها أكثر اتساعًا، وأكبر طولاً ووزنًا، إلاّ إن تلك المعاملة كان لها تأثير سلبى على الكتلة البيولوجية المتراكمة (Aguirre-Becerra وآخرون ٢٠٢٠).

تأثير الإضاءة الإضافية مع زيادة ثانى أكسيد الكربون

دُرس تأثير الإضاءة الإضافية (٢٠٠ ± ٢٠ ميكرومول/م^2 فى الثانية) وزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون (حتى حوالى ٨٠٠ ميكرومول/مول) كل على انفراد أو معًا على نمو ومحصول وجودة ثمار وفسيولوجى الطماطم النامية خلال فصلى الخريف والربيع فى الزراعة المحمية. ووُجد أن معاملة الإضاءة الإضافية وحدها أو مع معاملة زيادة ثانى

أكسيد الكربون أحدثت زيادة جوهرية فى النمو وتراكم فى الوزن الجاف. وأحدثت المعاملتين معًا تحسينًا جوهريًّا فى صبغات البناء الضوئى وصافى البناء الضوئى، وتحسنًا فى كفاءة استخدام الماء، كذلك أحدثت تحسنًا فى متوسط وزن الثمرة بنسب تراوحت بين ١٦,٢٪، و٣٦,٦٪، ومحصول النبات بنسب تراوحت بين ١٩٪، و ٦٠,٨٪، وكان تأثير الإضاءة الإضافية أقوى من تأثير زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون. وفضلاً عن ذلك، فقد أدت المعاملتين إلى تحسين جودة الثمار الغذائية (Pan وآخرون ٢٠١٩).

ولقد أدت زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون إلى خفض أعداد الخلايا فى وحدة الحيز من الجدر الثمرية اللحمية pericarp، مع إحداث زيادة جوهرية فى حيز الخلايا؛ الأمر الذى أدى إلى زيادة محصول الثمار، وتركيز العناصر فيها. كذلك ازداد معدل نمو الثمرة بزيادة تركيز الغاز؛ الأمر الذى ترافق مع تحفيز لتعبير جينات الـ expansin فى نسيج البيركارب بالثمار غير المكتملة النمو. وأدت زيادة تركيز الغاز إلى زيادة تركيز الإثيلين والكاروتينويدات أثناء نضج الثمار؛ الأمر الذى أسرع اكتمال التكوين (Pimenta وآخرون ٢٠٢٢).

تأثير ألوان الطيف

وُجد أن إحلال الضوء الأخضر جزئيًّا (+٣٢٪) محل الضوء الأحمر والأزرق أدى إلى زيادة الكتلة البيولوجية للطماطم بنحو ٦,٥٪، وإلى زيادة كل من المساحة الورقية الخاصة، والكتلة البيولوجية للأوراق وللسيقان، وطول السيقان، وعدد السلاميات. وفى منتصف النمو الخضرى — وليس فى قمته أو قاعدته — ازداد تركيز الكاروتينويدات، وازدادت نسبة كلوروفيل a إلى b بزيادة الضوء الأخضر. حدث ذلك على الرغم من أن كفاءة الضوء الأخضر فى البناء الضوئى لكل وحدة من مساحة الورقة أقل من كفاءة الضوء الأحمر، لكن الأمر يختلف بالنسبة لمستوى النبات كله، حيث يؤدى الضوء الأخضر إلى زيادة النمو (Kaiser وآخرون ٢٠١٩).

كذلك أدى تعريض شتلات الخيار والطماطم والفلفل للضوء الأخضر كبديل لكل من الضوء الأحمر أو الأزرق إلى زيادة كلٍّ من الوزن الطازج للشتلات والمساحة الورقية؛

فازدادت المساحة الورقية بنسبة ٣٣٪، و٢٢٪، و٤٩٪، وازداد الوزن الطازج بنسبة ٣٥٪، و١٤٪، و٥٦٪ لشتلات الخضر الثلاثة، على التوالى. هذا.. وتباين اندماج الشتلات فى الأنواع الثلاثة باختلاف نسب الضوء الأخضر إلى الأحمر إلى الأزرق (Garcia & Lopez ٢٠٢٠).

هذا.. ولم تتغير خصائص التفوق الكيميائية لثمار الطماطم لدى تعرض النباتات فى البيوت المحمية لإضاءة إضافية LED بلون أحمر أو أزرق أو تحت أحمر (Dzakovich وآخرون ٢٠١٧).

وخلافًا لذلك.. فقد وُجد أن محتوى ثمار الطماطم من حامض الأسكوربك يزداد بزيادة شدة الإضاءة من ٢٤٩ إلى ٩٦١ ميكرومول/م^{2} فى الثانية بالضوء اللِد LED الأزرق، وليس الأحمر، كذلك فإن تحفيز النظام المضاد للأكسدة (نشاط الأسكوربيت بيروكسيديز والديهدروأسكوربيت رِدكتيز) فى ظروف شدة الإضاءة يحفز زيادة محتوى حامض الأسكوربك. وقد تماثلت الأصناف المتفاوتة بطبيعتها فى محتوى ثمارها من حامض الأسكوربك.. تماثلت فى استجابتها للضوء (Zushi وآخرون ٢٠٢٠).

كذلك وُجد أن الإضاءة الإضافية بين النموات الخضرية intercanopy للطماطم بلمبات اللِدّ LED بالضوء الأحمر مع الأشعة تحت الحمراء يؤدى إلى تحسين الخصائص الطبيعية والكيميائية للثمار أكثر من تأثير الضوء الأحمر منفردًا. ولقد أدى التعريض للضوء الأحمر منفردًا إلى زيادة محتوى الثمار من المغنيسيوم والبوتاسيوم والكالسيوم بنسبة ٧٤٪، و٣٠٪، و٤٠٪ على التوالى، بينما أدى التعريض لكلٍّ من الضوء الأحمر والأشعة تحت الحمراء معًا إلى زيادة محتوى الثمار من كلٍّ من تلك العناصر إضافة إلى الصوديوم، وكانت تلك الثمار أفضل فى اختباراات التذوق عن ثمار الكنترول التى لم تتعرض نباتاتها بين النموات الخضرية للضوء الأحمر والأشعة تحت الحمراء. وبالإضافة إلى ما تقدم بيانه فقد أدت تلك المعاملة إلى زيادة المحصول، ونسبة المادة الجافة، وتحسين المواد الصلبة الذائبة الكلية، والحموضة المعايرة، والـ pH بالثمار. هذا.. وكانت معاملة الإضاءة الإضافية بلمبات اللِدّ بين النموات الخضرية أعلى

محصولاً عن معاملة الإضاءة بلمبات الصوديوم HPS من أعلى النباتات (Kim وآخرون ٢٠٢٠).

وأدى تعريض نباتات الطماطم أثناء نموها للأشعة تحت الحمراء — إلى جانب الأشعة الحمراء والزرقاء — إلى إنتاج ثمار حمراء أكثر صلابة عند الحصاد، وأكثر قدرة على تحمل التخزين؛ حيث يقل فقدها للوزن ويقل فيها التحللات والتنقير أثناء التخزين البارد. كما يؤدى التعريض للأشعة تحت الحمراء أثناء حمل النباتات للثمار وحصادها وهى خضراء إلى إسراع تلونها بالأحمر بعد فترة طويلة من التخزين البارد، وكانت تلك الثمار أقل فقدًا لصلابتها وأقل تنقيرًا بعد فترة قصيرة من التخزين البارد (Affandi وآخرون ٢٠٢٠).

ولقد أُجريت دراسة على صنفى الطماطم Cherry Little Wonder ذات الثمار الحمراء، و Goldilocks ذات الثمار الصفراء عُرِّضت فيها عناقيد الثمار الخضراء المكتملة التكوين قبل الحصاد للضوء الأحمر (٦٣٤ نانوميتر بقوة ١٢٠ ± ٢٠ ميكرومول/م^{٢} فى الثانية)، أو للضوء الأزرق (٤٥٠ نانوميتر بقوة ١٢٠ ± ٢٠ ميكرومول/م^{٢} فى الثانية) لمدة ثمانى ساعات يوميًّا لسبعة أيام متتالية. أثَّرت تلك المعاملات جوهريًّا على لون الثمار الناضجة وتركيز الصبغات فيها. ولقد أدت معاملتى الضوء إلى تحفيز تراكم الليكوبين جوهريًّا، كما حفزت المعاملتين من تراكم البيتاكاروتين، وكان هذا التأثير — بالنسبة لكلتا الصبغتين — أعلى فى الصنف ذات الثمار الحمراء عما فى الصنف ذات الثمار الصفراء. وأدت معاملتى الإضاءة — كذلك — إلى إسراع التغير اللونى بما مقداره خمسة أيام فى الثمار الحمراء، و١٠ أيام فى الصفراء (Ngcobo وآخرون ٢٠٢٠).

ودُرس تأثير تعريض الخيار والطماطم لمستويات مختلفة من الضوء الأزرق (٤٥٤ نانوميتر) (صفر، و٢٥، و٥٠، و٧٥، و١٠٠٪)، والنسبة الباقية للإضاءة من الضوء الأحمر (٦٦٣ نانوميتر) بشدة إضاءة ثابتة مقدارها ١٠٠ ميكرومول/م٢ فى الثانية، ووُجد ما يلى:

١– أعطى الخيار النامى فى ١٠٠٪ ضوء أزرق أعلى وزن جاف وأكبر مساحة ورقية، بينما أعطت الطماطم النامية فى ٢٥٪ ضوء أزرق أكبر نمو خضرى.

٢– فى كلا المحصولين أدى غياب الضوء الأزرق — مقارنة بالمعاملات الأخرى — إلى كبت جهاز البناء الضوئى بشدة، وكان مدى هذا الكبت أكبر فى الخيار عما فى الطماطم.

٣– كان محتوى الأوراق من النيتروجين الكلى والكربون الكلى والكلوروفيل الكلى الأقل فى معاملة غياب الضوء الأزرق فى كلا المحصولين.

ويُستدل مما تقدم بيانه أن الضوء الأزرق ضرورى للمحافظة على النمو النباتى الطبيعى، وأن الخيار أكثر حساسية للضوء الأحمر والأزرق عن الطماطم (Liang وآخرون ٢٠٢١).

وأُجريت دراسة عوملت فيها نباتات الطماطم النامية فى مزرعة مائية بإضاءة من لمبات لِدّ لمدة ١٦ ساعة يوميًّا (من ٨,٠٠ صباحًا إلى منتصف الليل) إضافة إلى ضوء الشمس الطبيعى، وكانت المعاملات عبارة عن ألوان مختلفة من الطيف بجرعات مختلفة، وقطفت الثمار وهى فى مرحلة النضج الأحمر وخزنت على ١٣ °م فى الظلام. وقد وُجد أن معاملة الضوء الأحمر والأزرق ومعاملة الضوء الأزرق + الأشعة تحت الحمراء زادت من صلابة الثمار مقارنة بصلابة ثمار معاملة الكنترول التى تعرضت النباتات فيها لضوء الشمس فقط. كذلك حافظت ثمار معاملة الضوء الأحمر والأزرق على محتوى عالٍ من الليكوبين والبيتاكاروتين بعد الأسبوع الأول من التخزين (Appolloni وآخرون ٢٠٢٣).

ولقد وُجد أن إصابة ثمار الطماطم بتعفن الطرف الزهرى كان أكثر عندما زوِّدت الصوبة بإضاءة من لمبات لِد (٩٥٪ أحمر، و ٥٪ أزرق) بقوة ٢٢٠ ميكرومول فى الثانية عند قمة النمو الخضرى لمدة ١٦ ساعة يوميًّا، وذلك عما كانت عليه الإصابة فى حالة الإضاءة بلمبات الصوديوم ذات الضغط العالى HPS (Prinzenberg وآخرون ٢٠٢١).

كذلك تُعد الانتفاخات السطحية intumescences ضررًا فسيولوجيًّا يؤثر فى نباتات الطماطم التى تنمو فى البيئات التى تنخفض فيها الأشعة فوق البنفسجية. ولقد وُجد أن الضوء الأزرق والأشعة تحت الحمراء تفيد فى الحدِّ من ذلك الضرر

الفسيولوجى. وتبين أن الانتفاخات بشتلات الطماطم انخفضت شدتها عندما عُرِّضت لضوء أزرق مع الأبيض أو بدون الضوء الأبيض. وبالمقارنة كانت أعلى إصابة بالانتفاخات عندما كان التعريض للضوء الأبيض فقط ؛ حيث تراوحت فى ستة أصناف من ٢٣٪ إلى ٦٩٪. وفى ظل التعريض للضوء الأزرق مع الأبيض كانت إصابة الشتلات بالانتفاخات منخفضة، ولم يكن للرطوبة النسبية سوى تأثير قليل فى هذا الشأن. وعمومًا فإن الأوراق الصغيرة كانت أقل تأثرًا بالانتفاخات. وأدت المعاملة بالأشعة تحت الحمراء إلى زيادة فى طول النباتات فى كل الأصناف، وأحدثت الزيادة فى الرطوبة النسبية نفس التأثير، لكن الرطوبة النسبية المنخفضة صاحبها انخفاض فى حجم الأوراق وفى المساحة الورقية الخاصة، مع زيادة فى الوزن الجاف للنمو الخضرى. وعمومًا.. فإن التعريض للأشعة تحت الحمراء يثبط الإصابة بالانتفاخات لكن يلزم تطبيق استراتيجيات للحد من استطالة السيقان (Retana-Cordero وآخرون ٢٠٢٢).

هذا.. وتُنتج نباتات الطماطم كمًّا هائلاً من الكتلة البيولوجية الغنية بالكثير من مركبات الأيض الثانوية التى لم تحظ باهتمام يذكر حتى الآن. ومن بين تلك المركبات الهامة الجلوكوسيد الفلافونولى flavonolglycosid ريوتين rutin. ولقد وُجد أن تعريض نباتات الطماطم لإضاءة إضافية بين النموات الخضرية من لمبات LED تعطى ٨٠٪ ضوء أحمر، و٢٠٪ ضوء أزرق يؤدى إلى زيادة إنتاج مركبات الأيض الثانوية فى النموات الخضرية، ومنها زيادة تركيز الريوتين فى الأوراق الحديثة، وبدرجة أقل فى الأوراق المكتملة النمو (Groher وآخرون ٢٠١٩).

ولمزيد من التفاصيل المتعلقة باستخدامات الإضاءة الـ LED وألوان الطيف فى حقل إنتاج الخضر والزهور ونباتات الزينة من حيث التأثير الفسيولوجى، والإنجازات، والوضع الحالى.. يُراجع Bantis وآخرين (٢٠١٨)، و Zheng وآخرين (٢٠١٩).

تأثير الأشعة فوق البنفسجية

أدى تعريض نباتات الطماطم النامية فى البيوت المحمية للأشعة فوق البنفسجية B (أو UV-B) إلى الحد من ظاهرة النموات المتدرنة المائية (الـ intumescences)

بصورة خطية تناسبت مع زيادة جرعة التعريض للأشعة. وتتحقق جرعة الـ UV-B المناسبة باستخدام لمبات فلورسنتية من طراز T12 فى الإضاءة، وهى التى ينبعث منها قدرًا أكبر من الـ UV-B (Kubota وآخرون ٢٠١٧).

كذلك أدى تعريض نباتات الطماطم فى الزراعة المحمية للـ UV-A (التى تشكل الجزء الأكبر من الأشعة فوق البنفسجية فى الطبيعة)، وذلك من لمبات مشعة للـ UV-A، لمدة ٨ أو ١٦ ساعة، بالإضافة إلى الشعة المرئية (٤٠٠–٧٠٠ نانوميتر) .. أدى ذلك إلى تحفيز الكتلة البيولوجية بمقدار ٢٩٪، و٣٣٪، على التوالى، مقارنة بالكنترول. وكان مرد ذلك أساسًا إلى الزيادة فى المساحة الورقية (٢٢٪، و٣١٪ للمعاملتين، على التوالى)؛ الأمر الذى أسهم فى الاستفادة من الإشعاع الضوئى. ولقد أدت معاملة الـ UV-A إلى زيادة معدل البناء الضوئى، مع زيادة فى كثافة الثغور. هذا.. ولم يكن لمعاملة الـ UV-A أية تأثيرات سلبية (Kang وآخرون ٢٠١٨).

كما أدى تعريض نباتات الطماطم يوميًّا لجرعتين من UV-A لمدة ساعة أو أربع ساعات إلى تحفيز النشاط المضاد للأكسدة بالثمار؛ بتراكم المركبات الفينولية، بما فى ذلك الفلافونويدات. وكانت المعاملة بالـ UV-A لمدة ساعة واحدة فقط يوميًّا هى الوحيدة التى حفَّزت تراكم الـ ortho-diphenols بالثمار. كذلك كانت ثمار النباتات المعاملة أكثر قبولاً فى اختبارات التذوق. وأدى تعريض النباتات لأى من UV-A أو UV-B لمدة ساعة واحدة أو أربع ساعات يوميًّا إلى إنتاج ثمار أكثر عددًا وأقل حجمًا (Mariz-Ponte وآخرون ٢٠١٩).

أما التعريض للأشعة فوق البنفسجية ج UV-C فإن له تأثيرات كبيرة على نمو نباتات الطماطم ومحصولها وجودة ثمارها ونشاطها فى عملية البناء الضوئى. فلقد كان لتعريض النباتات أثناء نموها لجرعات منخفضة من UV-C (١,٠، و ٢,٥ كيلوجول/م^{٢}) تأثيرًا إيجابيًّا على عقد الثمار. وأدى التعريض لجرعة ١,٠ كيلو جول/م٢ (1.0 kJ/m^2) إلى زيادة عدد الثمار وأوزانها حتى ٢٥٪، و٣٦٪، على التوالى، وذلك مقارنة بما حدث

فى نباتات الكنترول التى لم تُعامل، وكانت تلك الزيادات ٢٤٪، و٣١٪ – على التوالى – فى معاملة التعريض لجرعة ٢,٥ كيلوجول/م^{2} (Darras وآخرون ٢٠٢٠).

التحكم فى الرطوبة النسبية

أمكن خفض الفارق فى ضغط بخار الماء vapor pressure deficit (اختصارًا: VPD) بكفاءة – بالتضبيب fogging – من ١,٤ إلى ٠,٨ كيلوباسكال فى منتصف النهار خلال فصل الشتاء؛ وهو ما أدى إلى زيادة دليل توصيل الثغور الورقية خلال معظم النهار؛ ومن ثم زيادة معدل البناء الضوئى. وقد صاحب ذلك زيادة فى كتلة الطماطم البيولوجية بنسبة ١٧,٣٪ وزيادة المحصول بنسبة ١٢,٣٪ (Lu وآخرون ٢٠١٥).

ولقد وُجد أن رفع الرطوبة النسبية إلى ٧٠٪ فى ظل حرارة عالية (٤١/١٨ ْم) كان مفيدًا لنمو شتلات الطماطم؛ حيث ازداد فى تلك الظروف تراكم المادة الجافة؛ الأمر الذى لم يتحقق فى تلك الحرارة مع رطوبة نسبية أقل (٥٠٪)، كما ازداد أيضًا تركيز الأحماض الأمينية الحرة فى الرطوبة النسبية العالية (Zheng وآخرون ٢٠٢٠).

وبدراسة تأثير مستوى العجز فى ضغط بخار الماء vapor pressure deficit (اختصارًا: VPD) – بالتحكم فى الرطوبة النسبية – وتأثير مستوى التسميد النيتروجينى فى حرارة منخفضة على فسيولوجى نباتات الطماطم النامية بالصوبة شتاءً، وُجد ما يلى:

١– فى حرارة منخفضة مع رطوبة نسبية عالية، أحدثت الزيادة فى الـ VPD خفضًا فى القدرة على البناء الضوئى وفى امتصاص العناصر؛ مما قلل من تراكم الكتلة البيولوجية. أما الـ VPD العالية فإنها يمكن أن تُحفِّز النمو النباتى.

٢– فى الحرارة المنخفضة أدى الـ VPD العالى – مقارنة بالـ VPD المنخفض – إلى تبديد الطاقة الضوئية الممتصة بواسطة الأوراق بدرجة أكبر من خلال فلورة الكلوروفيل وفى صورة حرارة.

٣– فى الحرارة المنخفضة لم تحفز زيادة التسميد النيتروجينى فى ظروف الـ VPD العالى أو المنخفض .. لم تحفز النمو النباتى جوهريًّا. ولكن فى مستوى التسميد

النيتروجينى المنخفض مع VPD منخفض نمت النباتات بصورة أفضل عما لو كان الـ VPD عاليًا (Jiao وآخرون ٢٠٢٢).

التربية الرأسية

وُجد أن التربية الرأسية لنباتات الطماطم المحدودة النمو (من صنف Shuho) كانت أفضل من التربية الأفقية (بالتحكم الفيزيائى فى اتجاه النمو)، وذلك فيما يتعلق بنسبة الثمار الصالحة للتسويق، ومحصول فترة بداية الإثمار؛ بسبب حثّ التربية الرأسية لتغيرات مورفولوجية، وإحداث زيادة فى النمو الخضرى. هذا.. بينما لم يظهر فرق جوهرى بين طريقتى التربية فى محصول الثمار الكلى أو عدد الثمار/نبات، إلاّ إن محصول الثمار وعددها عند مرور ١١ أسبوعًا بعد الشتل، وكذلك نسبة الثمار الصالحة للتسويق خلال موسم الحصاد كانت أعلى فى حالة التربية الرأسية. وأدت التربية الرأسية مقارنة بالأفقية إلى زيادة المساحة الورقية ومعدل البناء الضوئى فى الورقة الحقيقية السابعة، بالإضافة إلى زيادة التربية الرأسية لكلٍّ من الوزن الجاف ومحتوى النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم بالأوراق والساق والفروع الجانبية العلوية والجذور (Ohta & Makino ٢٠١٩).

المحاليل المغذية والتسميد

pH المحلول المغذى وتوصيله الكهربائى

وُجد فى دراسة أُجريت على الطماطم المزروعة فى البيوت المحمية فى تربة جيرية أن pH المحلول المغذى المستخدم فى الرى بالتنقيط ودرجة توصيله الكهربائى EC يؤثران فى النشاط الإنزيمى فى محيط الجذور، وعلى تواجد البكتيريا فيه. ولقد أوصى بأن يكون pH المحلول المغذى بين ٦,٥، و٧,٢، ودرجة توصيله الكهربائى ٢,٠ ديسى سيمنز/م، لأن ذلك كان مثاليًّا للنشاط الإنزيمى الميكروبى فى بيئة نمو الجذور فى التربة الجيرية فى ظروف البحر الأبيض المتوسط (Maltas وآخرون ٢٠٢٢).

إضافة قشر البيض كمصدر للفوسفور

يُعد التخلص من قشر البيض مشكلة فى مصانع الأغذية التى تستعمل كميات كبيرة من البيض فى منتجاتها. وقد وُجد أن إضافة قشر البيض إلى المحاليل المغذية لشتلات

الطماطم فى المزارع المائية أحدثت تحسنًا جوهريًّا فى النمو النباتى، وإلى زيادة تركيز كل من البروتين والكلوروفيل فى ظروف نقص الفوسفور، وأيضًا فى ظروف توفره. كما أدت المعاملة إلى زيادة تركيز الفوسفور فى النباتات التى تعرضت لنقص العنصر (Astolfi وآخرون ٢٠٢٠).

الكالسيوم وعلاقته بتعفن الطرف الزهرى

أُجريت دراسة حول تأثير مستويات مختلفة من التسميد بالكالسيوم (صفر، و١٠، و٥٠٠ جزء فى المليون) فى صورة $CaCl_2$ على الإصابة بتعفن الطرف الزهرى فى ثمار الطماطم، وكذلك دراسة تأثير تلك المعاملات لنسيج البيريكارب فى أقراص ثمار الطماطم غير المكتملة التكوين. ولقد وُجد أن الإصابة بتعفن الطرف الزهرى وشدته كانت الأعلى فى معاملة الصفر فى المليون، وزادت شدة الإصابة جوهريًّا فى معاملة الـ ٥٠٠ جزء فى المليون، مقارنة بمعاملة الـ ١٠ أجزاء فى المليون. هذا بينما لم توجد أى فروق معنوية بين مختلف المعاملات فى محتوى الثمار من الكالسيوم. وتبين أن ماء صرف معاملة الـ ٥٠٠ جزء فى المليون كان أعلى فى درجة توصيله الكهربائى بمقدار ١٠ أضعاف معاملتى الصفر والـ ١٠ أجزاء فى المليون. ولقد انخفض استهلاك النبات اليومى من الماء فى معاملة الـ ٥٠٠ جزء فى المليون. ويعنى ذلك أن التسميد بالكالسيوم (١٠ أجزاء فى المليون) خفَّض بفاعلية الإصابة بتعفن الطرف الزهرى، لكن الزيادة الكبيرة فى التسميد بالكالسيوم تسببت فى زيادة كبيرة فى الإصابة بتعفن الطرف الزهرى. أما معاملة شرائح الثمار غير المكتملة التكوين بالكالسيوم فإنها ثبتطت ظهور أعراض تعفن الطرف الزهرى، إلاّ إن الإضافة الزائدة من الكالسيوم (٥٠٠ جزء فى المليون) فإنها لم تستحث ظهور الأعراض. هذا.. وعندما كانت الثمار بنفس العمر، فإن الثمار المبكرة والثمار الأكبر حجمًا ازدادت فيها الإصابة بتعفن الطرف الزهرى (Reitz وآخرون ٢٠٢١).

استعمال الأسمدة العضوية المهضومة

تناول Bergstrand (٢٠٢٢) موضوع استخدام الأسمدة العضوية، وخاصة المهضومة لا هوائيًّا anaerobic digestates منها فى تسميد الزراعات المحمية، وذلك فى مقال

مرجعى، وهى وسيلة للتسميد ذات إمكانات كبيرة، ويمكن زيادة جدواها وإمكاناتها بإضافة كائنات دقيقة مفيدة إليها واستعمال مخلفات عضوية مختلفة، واستعمالها رشًّا. هذا.. وبالإضافة إلى الأسمدة التى تنتج من عملية الهضم اللاهوائى للمخلفات العضوية النباتية والحيوانية، فإنه ينتج عنها — كذلك — طاقة يكن الاستفادة منها.

إضافة مستخلص الفيرميكمبوست

دُرس تأثير إضافة مستخلص الفيرميكمبوست vermicompost tea للمحاليل المغذية بتركيز ١,٦٪، و٣,٢٪ للخس، و٠,١٤٪، و٠,٢٨٪، و٠,٥٦٪ للطماطم فى مزارع مائية مغلقة (static, non-circulating)، مع خفض تركيز المحلول المغذى إلى ٢٥٪ أو إلى ٥٠٪. وقد وُجد إنه حتى مع استعمال التركيزات المنخفضة من مستخلص الفيرميكمبوست، فإن محصول الخس والطماطم ازداد جوهريًّا حتى مع تخفيض تركيز المحلول المغذى إلى ٢٥٪ فى الخس وإلى ٥٠٪ فى الطماطم. ويعتقد أن مرد تلك الزيادة فى المحصول كانت إلى ما يحتويه مستخلص الفيرميكمبوست من هرمونات نباتية، مثل الأوكسينات والسيتوكينينات والجبريللينات (Arancon وآخرون ٢٠١٩).

استخدام مياه صرف تربية الأسماك

استُخدمت مياه صرف effluent تربية أسماك البلطى النيلى (*Oreochromis niloticus*) — كماء رى غنى بالعناصر — فى رى وتسميد الطماطم فى حقل مكشوف. ولقد تساوى محصول الطماطم المنتج بتلك الطريقة فى الرى والتسميد مع المحصول المنتج تقليديًّا بالتسميد بالفرتجة، لكن المحصول كان أفضل عما فى حالة التسميد العادى بالأسمدة الصلبة. ولقد تساوت معاملة الرى والتسميد بمياه صرف تربية الأسماك مع معاملة التسميد التقليدى فى كلٍّ قراءات الإخضرار SPAD، ومحتوى جميع العناصر باستثناء الكبريت والنحاس اللذان كان مستواهما أقل جوهريًّا (Pattillo وآخرون ٢٠٢٠).

معاملات منظمات النمو

المعاملة باليونى كونازول للحد من استطالة الشتلات

يُعد اليونى كونازول uniconazole هو أول منظم نمو والوحيد المسموح باستخدامه مع محاصيل الخضر (الطماطم والفلفل والباذنجان) فى الزراعات المحمية. ولا يجب أن تزيد الكمية المعامل بها للشتلات عن ١٠ مجم/لتر (فى حوالى لتر ماء لكل ١٠٠ قدم مربع)، وألاّ تتأخر المعاملة الأخيرة عن ١٤ يومًا بعد مرحلة نمو الورقة الحقيقية الثانية إلى الرابعة. تؤدى المعاملة باليونى كونازول إلى الحدِّ من استطالة الشتلات بالحد من نمو الساق بين العقد، وذلك بتثبيطه لتمثيل الجبريللين. وغنى عن البيان أن الإنتاج الكثيف للشتلات فى صوانى الإنتاج بالصوبات يجعلها رفيعة وطويلة ورهيفة؛ الأمر الذى يحد — كذلك — من النمو الجذرى للشتلة، وتلك صفات غير مرغوبة فى الشتلات.

ولقد وُجد أن رش شتلات ١٢ صنفًا من الطماطم باليونى كونازول بتركيز ٢,٥ مجم/لتر قلل ارتفاع الشتلات فى كل الأصناف، مقارنة بطول شتلات الكنترول. وعندما كانت المعاملة بتركيز ٥ مجم/لتر فإنها أدت إلى زيادة عدد الأزهار فى أحد الأصناف، وهو الصنف المتوارث Brandywine، بينما لم يختلف هذا التركيز أو تركيز ٧,٥ أو ١٠ مجم/لتر عن تركيز ٢,٥ مجم/لتر من حيث التأثير على طول الشتلات أو وزنها الجاف (Dunn وآخرون ٢٠٢٢).

الـــرى

نظرًا لندرة مياه الرى العذبة مقارنة بما يتوفر من ماء البحار والمحيطات، فقد جرت محاولات لاستخدام مياه البحر فى المزارع اللاأرضية؛ فهى حتى تركيز معين لا تؤثر سلبيًّا على المحصول، فضلاً عما يحدثه ذلك من تحسن فى صفات الجودة، لكن الشد الملحى يمكن أن يتسبب فى أضرار كبيرة إن لم تتم إدارته بحرص، ويحتاج الأمر إلى الدراسة مع كل محصول وصنف على حدة. وجدير بالذكر أن استخدام مياه البحر فى الرى فى المزارع اللاأرضية لا يؤدى إلى أى من المشاكل التى يُحدثها الرى بهذه الطريقة فى المزارع الأرضية (Atzori وآخرون ٢٠١٩).

ولقد وجد أن زيادة معدل الرى فى الزراعات المحمية الأرضية للطماطم من ٠,٥ إلى ٠,٧ وإلى ٠,٩ من النتح التبخرى ارتبطت جوهريًّا مع محصول الثمار، ولكن الارتباط كان سلبيًّا مع خصائص جودة الثمار: محتوى المواد الصلبة الذائبة، وفيتامين ج، والأحماض العضوية، والسكريات الذائبة (Ge وآخرون ٢٠٢١).

معاملات التغلب على عوامل الشدِّ البيئى

الحرارة

أدى رش نباتات الطماطم النامية فى ظروف حرارة عالية فى الصوبات بالبرولين — أيًّا كان تركيزه حتى ١٦٠٠ مجم/لتر — إلى خفض محتوى فوق أكسيد الأيدروجين، وتحسين الحموضة المعايرة. وقد أدت المعاملة بالبرولين بتركيز ٥٠ أو ١٠٠ مجم/لتر إلى زيادة المحصول الصالح للتسويق والمحصول الكلى من الثمار. كذلك حسَّنت المعاملة بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون من كفاءة استخدام الماء، مع خفض محتوى الـ malondialdhyde. ويعنى ذلك أن المعاملة بالتركيز المناسب — وهو ١٠٠ مجم/لتر — يمكن أن تُساعد فى تجنب أضرار الحرارة المرتفعة فى الزراعات المحمية (Tonhati وآخرون ٢٠٢٠).

ويُفيد الرش الدقيق micro-spray فى تحسين بيئة النمو فى البيوت المحمية بالتغلب على شد الحرارة العالية صيفًا. ولقد دُرس تأثير الرش الدقيق والرى بالتنقيط على نمو نباتات الطماطم فى الحرارة العالية. كان الرش الدقيق بمعدل ٧,٥ لتر/فوهة رش (بزباز nozzle) لمدة دقيقة واحدة كل ساعة بدءًا من الساعة التاسعة صباحًا حتى الثانية بعد الظهر، وذلك عندما تكون حرارة الهواء أعلى عن ٣٠ ْم. كان للرش الدقيق مع الرى بالتنقيط أثره الإيجابى على نمو النباتات (١٨٪ زيادة فى قطر الساق مقارنة بالرى بالتنقيط فقط) وعلى خفض حرارة الأوراق بنحو ٣–٦ ْم، وتجنب الانخفاض فى البناء الضوئى، مع استمرار التأثير المبرد للرش الدقيق لمدة ١٠–٣٠ دقيقة. وكانت كفاءة استخدام المياه متماثلة فى حالتى الرى بالتنقيط مع الرش الدقيق أو بدونه. هذا.. ولم

يكن للرش الدقيق لمدة دقيقة كل ساعة تأثير لافت للنظر عندما كانت حرارة الهواء أعلى عن ٣٥°م (Zhang وآخرون ٢٠٢٢).

الملوحة

أدى تعريض شتلات الطماطم لتركيز ٨٠٠ ميكرومول/مول ك أ ٢ مع ٨٠ مللى مول/لتر نترات كالسيوم لمدة سبعة أيام إلى الحد من التأثيرات السلبية لشدِّ الملوحة، وذلك بزيادة تراكم الكتلة البيولوجية، بخفض التسرب الأيونى، وتركيز المالوندى ألديهايد malondialdehyde، وأنيون السوبرأوكسيد superoxide anion، وفوق أكسيد الأيدروجين، بزيادة المعاملة بثانى أكسيد الكربون لنشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة superoxide dismutase، و peroxidase، و catalase. كذلك عدَّلت المعاملة تركيز الأحماض الأمينية الحرة والتحويل المتبادل مع البولى أمين الداخلى (الذاتى)؛ الأمر الذى حسَّن من تحمل النباتات لشدِّ الملوحة (Zhang وآخرون ٢٠٢٠).

وأدت الملوحة العالية في المزارع المائية إلى الحدِّ من نمو نباتات الطماطم، إلاّ أن رش النباتات بأى من معاملات الأحماض الأمينية التالية: Met + Trp، أو Pro + Glu، أو L-Met أدى إلى إعكاس التأثيرات السلبية للملوحة العالية. ولم يكن مرد ذلك التأثير إلى أى اختلافات فى تركيز الكلور أو الصوديوم بالأوراق، أو إلى أى تغير فى الحالة المائية بالنباتات، لكن كان مرده إلى تراكم السكريات الكلية الذائبة، وهى التى ربما أوقفت نشاط العناصر المحبة للاكسدة التى يزداد تواجدها فى ظروف الملوحة العالية (Alfosea-Simón وآخرون ٢٠٢٠).

ولقد كانت دلائل فلورة الكلوروفيل فى صنف الطماطم Mobil فى حدها الأدنى بعد ٢٨ يومًا من بدء المعاملة بشدِّ الملوحة فى مزرعة مائية. وأنتجت النباتات التى نُمِيَّت فى pH ٥,٥ أعلى وزن طازج للثمار ووزن جاف للنباتات، مقارنة بقيم الـ pH الأخرى. وعلى الرغم من أن شدِّ الملوحة أثر سلبيًّا على النمو النباتى، فإن خفض الـ pH فى محيط الجذور خفف من التأثيرات الضارة للملوحة (Nabati وآخرون ٢٠٢١).

وقد دُرس تأثير مستويات مختلفة من الملوحة فى المحلول المغذى (صفر، و٢٠، و٦٠ مللى مول كلوريد صوديوم) مع مستويات مختلفة من السيليكون (صفر، و١,٥ مللى مول Si) على الطماطم فى مزرعة مائية مغلقة. ولقد وُجد أن الوزن الجاف للنمو الخضرى ومحصول الثمار انخفض بزيادة الملوحة، إلاّ إن السيليكون أعاد الكتلة البيولوجية والمحصول إلى طبيعتهما جزئيًّا عندما كان تركيز الملوحة ٢٠ مللى مول كلوريد صوديوم. وأظهرت النباتات التى عُومِلت بالسيليكون تركيزًا للصوديوم يقل بمقدار ١٩٪، و٣٢٪ فى تركيزى الملوحة ٢٠، و ٦٠ مللى مول كلوريد صوديوم، على التوالى. وتغلبت معاملة السيليكون جزئيًّا على عدم التوازن فى نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم التى سببتها الملوحة، وكانت الزيادات فى نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم ونسبة الكالسيوم إلى الصوديوم فى النمو الخضرى مرتبطة بزيادة الكتلية البيولوجية للنمو الخضرى. وأدت معاملة السيليكون إلى زيادة قدرها ٦٠٪ فى نشاط البيروكسيديز ومحتوى البرولين عند تركيز ملوحة ٦٠ مللى مول كلوريد صوديوم. وقد أدت معاملة السيليكون إلى استفادة محصول الثمار جزئيًّا فى الملوحة المعتدلة بسبب زيادة استبعاد الجذور للصوديوم، وانخفاض محتوى النمو الخضرى من الصوديوم، والتحسن فى محتوى البوتاسيوم والكالسيوم والتوازن بين نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم (Hernándes - Salinas وآخرون ٢٠٢٢).

معاملات تحسين القيمة الغذائية بإضافات للمحلول المغذى

السيلينيم واليود والزنك

أدت إضافة سيلينات الصوديوم للمحاليل المغذية الخاصة بالطماطم إلى امتصاص الجذور للعنصر وانتقاله إلى الأوراق والثمار. وبينما لم تؤثر إضافة السيلينيم جوهريًّا على صفات جودة الثمار عند الحصاد، فإنها أخرّت النضج بالتأثير على كل من التنفس وإنتاج الإثيلين وظهور اللون بعد الحصاد. ولقد احتوى ١٠٠ جم من ثمار النباتات المعاملة بتركيز ١,٥ مجم سيلينيم/لتر من المحلول المغذى على ٢٣,٧ ميكروجرام من العنصر، علمًا بأن الجرعة المناسبة الموصى بها يوميًّا للإنسان هى ٦٠ ميكروجرام للنساء، و٧٠ ميكروجرام للرجال (Puccinelli وآخرون ٢٠١٩).

كذلك أدى تزويد المحاليل المغذية للطماطم بالسيلينيم بتركيز ٢,٠ ميكرومول/لتر إلى تحسين قوة النمو النباتى ومحصول الثمار الكلى بنسبة ٦٠٪، وكذلك تحسين محصول الثمار الصالحة للتسويق، وزيادة كفاءة استعمال النيتروجين بنسبة ٦٠,٣٪. وادت المعاملة بالسيلنيم — كذلك — إلى تحفيز محتوى الثمار من كلٍّ من حامض الأسكوربك والليكوبين. وقد ازداد محتوى الثمار من السيلينيم من ٠,١ مجم/كجم من الوزن الجاف فى نباتات الكنترول غير المعاملة إلى ٨,٩ مجم/كجم وزن جاف فى النباتات التى عُومِلت بالسيلينيم بتركيز ٤,٠ ميكرومول/لتر من المحلول المغذى (Sabatino وآخرون ٢٠٢١).

كما أُجريت دراسة زِيد فيها تركيز عناصر اليود والسيلينيم والزنك فى المحلول المغذى للطماطم إلى ١٥٠، و٢٠، و٥٠ ميكرومول — على التوالى — بهدف زيادة محتوى الثمار من تلك العناصر — وهو ما يُعرف بالـ bifortification — علمًا بـأن كل هذه العناصر تُعد ضرورية للإنسان، إلاّ إن الزنك — فقط — هو العنصر الضرورى منها للنمو النباتى. ولقد أدت تلك المعاملات إلى زيادة محتوى السيلينيم والزنك بالثمار جوهريًّا، بينما لم يتأثر محتوى اليود. ولم يكن للمعاملة بتلك العناصر الثلاثة — مجتمعين — أى تأثير جوزهرى على أكثر من ١٧ عنصرًا آخر من العناصر الضرورية وغير الضرورية للنبات والعناصر الثقيلة (Sahin ٢٠٢١).

الوقاية من الأمراض والآفات

دور التغذية

لا يُعد السيليكون عنصرًا ضروريًّا للنباتات على الرغم من توفره فيها بنسبة تتراوح بين ٠,١٪، و ١٠٪ من المادة الجافة. لا يُعرف دور هذا العنصر فى أيض النباتات، لكن دوره معروف جيدًا فى الحماية من حالات الشدِّ البيئى والبيولوجى. ولقد وُجد أن إضافة السيليكون إلى المحاليل المغذية للزراعات المائية للخس والطماطم والفلفل

والكنتالوب والخيار أدت إلى زيادة سمك طبقة الأديم وطبقة البشرة بأكثر من ١٠٪ – فى المتوسط – فى كل المحاصيل، كما لوحظ وجود تأثير إيجابى لإضافة السيليكون فى المحلول المغذى فى الحماية من الإصابة بالفطر *Botrytis cinerea* فى كلٍّ من الخس والطماطم والفلفل (Pozo وآخرون ٢٠١٥).

المعاملة بالمطهرات

عند إعادة استخدام مياه الرى فى الزراعات المحمية فإنه يتعين معاملتها للتخلص من مسببات الأمراض؛ لأجل خفض احتمالات الإصابة بها.

وفى الزراعات المحمية المائية ذات المحاليل المغذية التى يستمر دورانها recerculating فإنه يمكن تطهيرها بحقنها بهيبوكلوريت البوتاسيوم KClO الذى ينتج فى الموقع بالتحلل الكهربائى electrolytically-generated. وفى دراسة على الطماطم أُجرى الحقن مرة واحدة أسبوعيًّا لمدة ٦٠ ساعة بتركيز كلور حر ٠,٥ مجم/لتر طوال فترة الاختبار التى دامت ١٦ أسبوعًا. أدت هذه المعاملة إلى تثبيط انتشار الفطرين *Fusarium oxysporum*، و *Rhizoctonia solani* خلال فترة الدراسة. وبالمقارنة أُصيبت جميع نباتات الطماطم – التى لم تُعامل – بالفطر *F. oxysporum*، كما أُصيب ثلث النباتات – إضافة إلى ذلك بالفطر *R. solani* (Rodriguez وآخرون ٢٠١٨).

وقد دُرس تأثير التطهير اللاهوائى لتربة البيوت المحمية – لزراعات الطماطم – باستعمال نخالة القمح (٢٠,٢ طن/هكتار، أو نحو ٨,٥ طن/فدان)، والمولاس (٢٠,٢ طن/هكتار، أو نحو ٤,٢٥ طن/فدان)، مع التطعيم على أصول Maxifort، و Estamino على الإصابة بالمسببات المرضية التى تعيش فى التربة، وهى: *Pyrenochaeta lycopersici* (مسبب مرض عفن الجذور الفلينى)، و *Colletotrichum coccodes* (مسبب مرض black dot root rot)، و *Vertcillium dahlia* (مسبب مرض ذبول فيرتسيليم)، و *Meloidogyna hapla*، و *M. incognita* (وهما من أنواع نيماتودا تعقد الجذور).

أدت معاملة التطهير اللاهوائى للتربة إلى خفض الإصابة بالأعفان جوهريًّا فى الجذر الوتدى الرئيسى، وخفض تواجد الفطريات المرضة فى التربة. وكانت أقل إصابة بعفن الجذور الفلينى عندما استخدم Maxifort كأصل فى التطعيم. وحدث الأمر ذاته مع نيماتودا تعقد الجذور التى كانت شدة الإصابة بها أقل جوهريًا عند التطهير اللاهوائى للتربة، لكن التطعيم لم يؤثر فى الإصابة. هذا.. ولم يؤثر التطهير اللاهوائى للتربة جوهريًّا على المحصول (Testen وآخرون ٢٠٢١).

كما يتعين تطهير المزارع المائية من الطحالب لأن وجودها يؤدى إلى خفض المحصول؛ بسبب خفضها للأكسجين الذائب، وتأثيراتها الفسيولوجية على النبات المزروع؛ لذا يتوجب مكافحتها. ولقد وُجد أن تزويد المحلول المغذى بمنتجات تجارية تحتوى على فوق أكسيد الأيدروجين (هى: Zerotol، و PERpose Plus) – بمعدل ٧٠ مل من أى منهما أسبوعيًّا – كان فعَّالاً فى مكافحة الطحالب وتحسين نمو نباتات الفلفل والطماطم النامية بالمزارع (Thakulla وآخرون ٢٠٢٢).

الأشعة فوق البنفسجية

وُجد أن الأشعة فوق البنفسجية ج UV-C – خاصة فى صورة flash أو نبضات ضوئية – كان لها تأثير قوى فى تحفيز الدفاعات النباتية ضد الفطريات المرضة. ولقد استخدمت أنواع مختلفة من اللمبات لتوليد الـ UV-C، منها: لمبات اللِد LED، والـ low pressure mercury vapor lamps، والـ xenon lamps، والأخيرة هى التى تستخدم فى توليد نبضات ضوئية. ويبدو أن الـ UV-C تلعب دورًا فى إحداث شد تأكسدى بالنباتات (Urban وآخرون ٢٠١٨).

كما وُجد أن تعريض نباتات الطماطم للأشعة فوق البنفسجية UV-C بجرعة ٠,٨٥ كيلوجول/م٢ أحدث زيادة جوهرية فى الدفاع النباتى ضد الإصابة بالفطر *Botrytis cinerea*، مع تخفيض المساحات الورقية المصابة بنحو ٥١٪، مقارنة بالمساحة المصابة فى نباتات الكنترول التى لم تُعامل. وكان ذلك التأثير للمعاملة مُصاحبًا بزيادة فى نشاط

الإنزيم PAL، وفى كمية الفينولات المرتبطة. هذا.. وقد وقع الاختيار على تلك الجرعة لكونها عالية بالقدر الذى يستحث المقاومة، ومنخفضة بالقدر الذى يمنع أى تأثيرات ضارة على النباتات (Vásquez وآخرون ٢٠٢٠).

هذا.. بينما تلعب أغطية البيوت المحمية الحاجبة للأشعة فوق البنفسجية دورًا كبيرًا فى تثبيط نشاط حشرات رتبتى Hemiptera، و Thysanoptera. وللتفاصيل المتعلقة بدراسات تأثير تلك الأغطية على الإصابات الحشرية، يُراجع Fennell وآخرين (٢٠١٩).

الفصل الثانى

الخضر الباذنجانية الأخرى

البطاطس

إنتاج الدرنات المينى

لا تُنتج البطاطس — عادة — فى الزراعات المحمية، إلا إن البطاطس المينى mini tubers — التى تُستعمل كتقاوى — يمكن إنتاجها فى المزارع الهوائية aeroponics. ولقد كان لنوع فوهات التضبيب misting nozzle types واتجاه الرش أهمية كبيرة فى العملية الإنتاجية. وكانت أفضل المعاملات هى الرش بالضباب بمعدل ١٢ لتر/ساعة مع اتجاه الرش إلى أسفل؛ حيث أمكن إنتاج ٤٩١ درنة مينى/نبات (Filho وآخرون ٢٠٢٠).

ومن أهم مزايا إنتاج الدرنات المينى بهذه الطريقة زيادة معدل الإكثار والحصول على درنات مينى متجانسة فى الحجم؛ الأمر الذى لا يتحقق عند الإكثار بالنظام التقليدى لإنتاج الدرنات المينى.

ولقد وُجد أن اللجوء للمزارع الهوائية لإنتاج الدرنات المينى يسمح بالحصاد عدة مرات، وذلك بمعدل محصول قدره ٢٠–٥٠ درنة مينى/نبات. ويتأثر عدد الدرنات المنتجة وأحجامها على عدة عوامل، منها الصنف المستخدم، وكثافة الزراعة، والفترة بين رشَّات المحلول المغذى، ومدة كل رشَّة، والإضاءة.

ولقد ازداد عدد الدرنات المينى المنتجة/نبات بخفض كثافة الزراعة؛ من ٢٠٠ نبات/م^{٢} إلى ٢٥ نبات/م^{٢}؛ حيث كان متوسط عدد الدرنات المنتجة/نبات ١٣,٢٠، و١٩,٨٥فى الكثافتين، على التوالى. كذلك انخفض حجم الدرنات المنتجة بزيادة كثافة الزراعة. ومقارنة بالإنتاج بالطريقة التقليدية، كان إنتاج المزارع الهوائية من الدرنات

المينى أعلى، لكن متوسط وزن الدرنة كان أعلى فى الطريقة التقليدية. ولقد تراوح إنتاج الدرنات المينى فى المزارع الهوائية بين ٥,٩، و٩,٣ كجم/م٢، وكان ذلك حوالى ضعف الإنتاج بالطريقة التقليدية (Caliskan وآخرون ٢٠٢٠).

وتستفيد المزارع الهوائية لإنتاج الدرنات المينى من العدوى بالبكتيريا المنشطة للنمو (بكتيريا المحيط الجذرى rhizobacteria)، مثل السلالة Sp245 من *Azospirillum brasilense*؛ حيث يتحسن إنتاج الدرنات المينى وجودتها. وفى إحدى الدراسات تمت زراعة النباتات الميكرو microplants التى أُنتجت فى بيئة صناعية فى مزرعة هوائية. وبعد ثلاثة أسابيع من النمو أُضيفت البكتيريا إلى المحلول المغذى، وتم التعرف على تواجد البكتيريا على الجذور ميكروسكوبيًّا واستمرت عليه، فى الوقت الذى اختفت فيه البكتيريا — من السلالة Sp245 — من المحلول المغذى. ولقد أدت هذه المعاملة إلى زيادة إنتاج الدرنات المينى بنسبة ٤٠٪، و٦٠٪ فى صنفين من البطاطس، وازداد متوسط إنتاجهم/م٢ بنسبة ١٧٪ فى كلا الصنفين. كذلك أدت المعاملة إلى زيادة حجم حبيبات النشا فى البلاستيدات النشوية amyloplasts بنسبة ١٢٪، ومحتوى النشا فى الدرنات المنى بمقدار ١,٥ مرة (Tkachenko وآخرون ٢٠٢٠).

الفلفــل

كان إنتاج الفلفل الجالابينو والطماطم فى الصوبات (مع استخدام ملش بلاستيكى والرى تحت السطحى بالتنقيط) أكثر نجاحًا فى الظروف الجوية القاسية — كالرياح الحارة الجافة — عن الإنتاج فى الحقل المكشوف؛ فلقد ازداد المحصول، على الرغم من انخفاض شدة الإضاءة داخل الصوبة عما فى الحقل المكشوف، ولم تختلف الثمار المنتجة فيها فى صفات الجودة الكيميائية مثل محتوى حامض الأسكوربك والليكوبين. وبسبب الحماية من الرياح الحارة الجافة، فقد انخفضت احتياجات النباتات المنتجة فيها من مياه الرى، وازدادت كفاءة استخدام الماء (Rho وآخرون ٢٠٢٠).

التحكم فى درجة الحرارة

أظهرت نتائج دراسة عن أثر نظام الإدارة المتكاملة للتبريد والتدفئة السلبيين فى جودة ثمار الفلفل إنه أدى إلى تحسين متوسط وزن الثمرة، ونسبة المواد الصلبة الذائبة فيها، وكذلك محتواها من الجلوكوز والفراكتوز والفوسفور والبوتاسيوم، مع زيادة فى قيم b^*، و h_{ab}^*، وانخفاض فى المحتوى الفينولى الكلى، والأحماض الأمينية الكلية والحديد والزنك (Piñero وآخرون ٢٠٢١).

التغلب على شدِّ الحرارة العالية بالتطعيم

دُرس تطعيم الفلفل على أصل من الفلفل متحمل للحرارة العالية (A57)، مقارنة بالتطعيم على أصل غير متحمل، مع إنتاج المحصول فى ظروف حرارة عالية (٢٢/٣٨ ْم نهار/ليل)، مقارنة بالإنتاج فى حرارة معتدلة (٢٢/٢٨ ْم نهار/ليل) فى بيوت محمية. ووُجد أن التطعيم على الأصل المتحمل أدى إلى التغلب على التأثيرات السلبية للحرارة العالية، مع تحسن فى عقد الثمار، وفى صفات حبوب اللقاح، وكان لذلك علاقة بعدة تغيرات فسيولوجية. لقد نتج عن التطعيم على الأصل المتحمل A57 أقل تسرب أيونى، وعدم حدوث اختلاف فى تركيز الكلوروفيل والكاروتينويدات، مع زيادة فى تركيز حامض الأسكوربك والفينولات، وعدم تراكم لفوق أكسيد الأيدروجين. وترافقت تلك الاستجابات الفسيولوجية فى الأوراق مع أعلى تركيز للبرولين فى المتوك، وأفضل إنبات لحبوب اللقاح وعقد للثمار (Gisbert-Mullor وآخرون ٢٠٢٣).

التحكم فى الإضاءة

تأثير التظليل

لنباتات الفلفل قدرة على التأقلم الفسيولوجى الضوئى تسمح لهم بالمحافظة على نشاط البناء الضوئى عند التظليل فى مستوى يماثل المستوى الملاحظ فى النباتات غير المظللة، عبر مدى واسع من شدة الإضاءة، أيًّا كان نوع شباك التظليل المستعملة أو شدة تظليلها (Kitta وآخرون ٢٠١٤).

ولقد أحدث تظليل بيوت إنتاج الفلفل بشباك تظليل أعطت تظليلاً بنسبة ٣٥٪ أو ٦٣٪ أو ٨٠٪ التأثيرات التالية:

١- ازداد المحصول الكلى والمحصول الصالح للتسويق بزيادة مستوى التظليل حتى ٣٥٪، ثم انخفض بزيادة مستوى التظليل عن ذلك، وتراوحت الزيادة فى المحصول عند تظيل ٣٥٪ بين ٤٣٪، و١١٩٪ فى ثلاثة أعوام أجريت فيها الدراسة.

٢- انخفضت أعداد ثمار الدرجة الثانية والثمار غير الصالحة للتسويق (التى تكون مصابة بلسعة الشمس) بزيادة مستوى التظليل.

٣- انخفض محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة والمادة الجافة بزيادة التظليل.

٤- لم يتأثر فقد الثمار للماء أو إصابتها بالعفن البكتيرى الطرى بالنظليل.

٥- انخفضت إصابة الثمار بلفحة فيتوفثورا وبلسعة الشمس بزيادة مستوى التظليل.

٦- ارتبطت التأثيرات الإيجابية للتظليل بانخفاض فى كلٍّ من شدة الإشعاع، وحرارة الهواء، وحرارة التربة؛ الأمر الذى حَدَّ من الشدِّ الحرارى.

٧- كان مستوى التظليل المثالى لإنتاج أعلى محصول هو الذى أعطى أكبر قدر من التبريد — الذى حدث جراء خفض شدة الأشعة تحت الحمراء — مع تحجيم الانخفاض فى صافى عملية البناء الضوئى، الذى حدث جراء خفض شدة الإشعاع النشط فى عملية البناء الضوئى (Diaz-Pérez ٢٠١٤).

ومقارنة بعدم التظليل.. أنتج الفلفل الحار النامى فى تظليل بنسبة ٥٠٪ محصولاً مماثلاً ونموًّا خضريًّا (طازجًا وجافًّا) كما فى نباتات المقارنة، ولكن مع انخفاض فى عدد الثمار. أما التظليل بنسبة ٧٠٪ فإنه قلل المحصول. وأدى التظليل بمستوييه إلى خفض حرارة الأوراق (Masbani وآخرون ٢٠١٦).

وفى دراسة أخرى على الفلفل الحلو الناقوسى أدى تظليل البيوت المحمية — مقارنة بعدم التظليل – إلى تحسين النمو النباتى والتبادل الغازى بالأوراق، وكان مرد

ذلك بالأساس إلى ما أحدثه التظليل من خفض فى حرارة الأوراق وحرارة منطقة نمو الجذور، أيًّا كان لون شباك التظليل (أسود، أو أحمر، أو فضى، أو أبيض). ولم تكن تأثيرات لون شباك التظليل على النمو النباتى أو خصائص النمو ثابتة أو ظاهرة أصلاً. هذا.. إلاّ إن التظليل — مقارنة بعدم التظليل — أدى إلى خفض حرارة الهواء وحرارة منطقة نمو الجذور فى منتصف النهار، وتحسين النمو النباتى (الوزن الطازج وسمك الساق)، وخفض شدة الإصابة بلفحة فيتوفثورا، وزيادة توصيل الثغور وكفاءة الـ photosystem II، وصافى البناء الضوئى بالأوراق، وتركيز ثانى اكسيد الكربون الداخلى بالأوراق، والكاروتينويدات الكلية بالأوراق، وتركيز كلوروفيل أ ونسبة كلوروفيل أ إلى ب. وقد كان تركيز الفينولات الكلية والفلافونويدات وتضادية الأكسدة أعلى فى معاملة عدم التظليل، وكذلك فى معاملة التظليل بالشباك الحمراء (Diaz-Pérez & John ٢٠١٩).

وقد وُجد فى Tifton بولاية جورجيا الأمريكية أن استعمال شباك التظليل أدى إلى زيادة محصول وجودة الفلفل الحلو، مقارنة بعدم استعمالها. وقد كان لاستعمال شباك التظليل تأثيرات إيجابية على المحصول الكلى والمحصول الصالح للتسويق كوزن كلى وعدد ثمار ووزن للثمرة الواحدة (Diaz-Pérez وآخرون ٢٠٢٠)

كذلك دُرس تأثير استخدام شباك تظليل مختلفة الألوان (بيضاء، وخضراء، وسوداء) توفر ٥٠٪ شدة تظليل، بالإضافة إلى معاملة كنترول بدون استخدام لشباك تظليل على نمو نباتات الفلفل وكفاءة استخدامه للماء فى بيئة شبه جافة. ولقد وُجد أن جميع الشباك خفَّضت حرارة الهواء نهارًا وشدة الإضاءة (٢٨/٢٢ °م، و٩٩٩٢ لكس، على التوالى)، مقارنة بمعاملة الكنترول (٣٢–٣٧ °م، و٢٤٩٧٣ لكس، على التوالى). وأدى استعمال الشباك إلى تحفيز النمو، ومعدل البناء الضوئى، مقارنة بالكنترول. كذلك أدى استعمال شباك التظليل إلى زيادة كفاءة استخدام الماء بهذا الترتيب: الكنترول ≥ الشباك البيضاء < السوداء < الخضراء (Mohawesh وآخرون ٢٠٢٢).

وفى ولاية أيوا الأمريكية (فى Ames) وُجد أن تظليل صوبات الفلفل الحلو الألوان (٩ أصناف) بشباك تظليل تعطى تظليل بنسبة ٣٠٪ أو ٥٠٪ بدءًا من شهر يونيو أدى إلى

خفض متوسط الحرارة الشهرى ومتوسط الحرارة العظمى الشهرية خلال الفترة من يونيو إلى أغسطس. وأدى استعمال شباك التظليل بنسبة ٥٠٪ إلى خفض الإصابة بلسعة الشمس بمقدار ٥٩٪ مقارنة بعدم التظليل. وعلى الرغم من عدم وجود فروق معنوية بين التظليل بمقدار ٣٠٪ أو ٥٠٪، فإن التظليل بمقدار ٥٠٪ أحدث – مقارنة بالكنترول غير المظلل – خفضًا فى كلٍّ من عدد الثمار الصالحة للتسويق (بنسبة ٣٢٪) ووزنها (بنسبة ٢٩٪). هذا.. ولم تؤثر معاملتى التظليل على محتوى المواد الصلبة الذائبة بالثمار، أو الـ pH، أو الحموضة المعايرة بالثمار، كما لم تؤثر على قراءات الـ SPAD أو كتلة النمو الخضرى، أو عدد الأوراق/نبات، أو العدد الكلى للأوراق/نبات، إلاّ إن طول النبات ازداد بمقدار ١٤,٥ سم – فى المتوسط – فى معاملة التظليل مقارنة بالكنترول. وقد أوصى بعدم زيادة التظليل – فى ظروف تلك الدراسة – عن ٣٠٪ (Lang وآخرون ٢٠٢٠).

هذا.. ويلعب نشاط صبغات الفيتوكروم دورًا كبيرًا فى تحديد الصفات المورفولوجية، وقد وُجد فى الفلفل أن التعرض للضوء الأخضر يؤثر فى اتساع الأوراق وزيادة مساحتها عن التعرض للأشعة تحت الحمراء. أما الضوء الأزرق فقد لعب دورًا هامًّا فى تقليل طول النبات، وزيادة سمك الساق، وفى توجيه المادة الجافة نحو الأوراق، وزيادة حالة الإندماج (Claypool & Lieth ٢٠٢١).

تأثير الإضاءة الإضافية داخل النموات الخضرية

بينما تُفيد الإضاءة من أعلى فى توفير الضوء لقمة النموات الخضرية، فإن الزراعات الرأسية الكثيفة للفلفل تجعل التظليل شديدًا على الأوراق الوسطى والسفلية على السيقان. وعندما دُرس تأثير توفير إضاءة إضافية نهارًا من لمبات اللِد LED فى منتصف النموات الخضرية، وُجد أن تلك المعاملة خفَّزت معدل البناء الضوئى للأوراق الداخلية (تحت العلوية) بمقدار ٣,٥ – ٥,٧ أضعاف، وأحدثت زيادة جوهرية (حوالى ٣٠٪) فى محصول ثمار فصل الربيع. وكانت الزيادة فى المحصول مردها إلى زيادة فى عدد الثمار وليس فى حجمها أو وزنها (Joshi وآخرون ٢٠١٩).

تأثير ألوان الطيف

وُجد أن إضاءة من لمبات لِدّ LED تعطى مدى واسع من ألوان الطيف يشمل الأحمر والأخضر والأزرق تُعطى أكبر وزن جاف لشتلات الفلفل وتجعل الشتلات أكثر اندماجًا. وقد أعطى التعريض للضوء الأخضر منفردًا أكبر مساحة للأوراق عن أى من الضوء الأزرق أو الأحمر منفردين. كذلك أعطى الضوء الأخضر منفردًا شتلات طويلة ذات وزن جاف كبير وسيقان سميكة عما فى الشتلات التى تعرضت للضوء الأزرق منفردًا. أما التعريض للضوء الأزرق منفردًا فقد أنتج نباتات أقصر وأكثر إندماجًا وازدادت فيها كثافة الثغور والقدرة على البناء الضوئى (Claypol & Lieth ٢٠٢٠).

ومع توفر إضاءة جيدة بمدى واسع من ألوان الطيف فوق نباتات الفلفل فى البيوت المحمية شتاء (فى أونتاريو بكندا)، فإن زيادة نسبة الإضاءة بالضوء الأخضر من لمبات اللِدّ يزيد من شدة الإضاءة وتعمقها داخل النمو الخضرى بنحو ٤٣٪ إلى ١٥٨٪. ولقد أدت إضافة اللون الأخضر إلى زيادة وزن الثمرة بنحو ٢٪ إلى ١٥٪ حسب نسبة الضوء الأخضر إلى الأزرق (من ١٢٪ إلى ٤٣٪ أخضر، مع شدة إضاءة ١٧٥ ميكرومول/م^{٢} فى الثانية) والصنف. كذلك ازداد محتوى ثمار الفلفل من المادة الجافة خطيًّا مع الزيادات فى نسبة الضوء الأخضر (Lanoue وآخرون ٢٠٢٢).

وقد وجد أن الفلفل الحريف Chili يزداد فيه إنتاج المركبات الكابسايسينويدية capsaicinoids لدى تعرضه للضوء الأزرق، ويكون اللون أكثر تأثيرًا لدى تعرض النباتات لضوء أزرق مع ضوء أحمر، وهى المعاملة التى يزداد معها — كذلك — جوهريًّا محتوى الثمار من المواد الكربوهيدراتية الكلية والسكريات المحتزلة والكاروتينات والبروتين (Gangadhar وآخرون ٢٠١٢).

الغطاء البلاستيكى للتربة

يفيد استخدام الغطاء البلاستيكى الأسود للتربة فى البيوت المحمية المظللة shade houses فى تحسين النمو النباتى وزيادة المحصول، وكان الملش الأسود أفضل من الألومنيومى والفضى والأبيض فى زيادة المحصول، بينما كان تأثيرها على النمو النباتى

متساويًا، وذلك مقارنة بالوضع فى التربة غير المغطاة بالبلاستيك (Canu-Tum وآخرون ٢٠١٧).

تجنب التقلبات فى عقد الثمار

وُجد من دراسة على عقد ثمار الفلفل دامت حوالى ٢٥٠ يومًا فى زراعة محمية أن نسبة عقد الثمار (عدد الثمار التى يتم حصادها/عدد الأزهار المنتجة) تنخفض جوهريًّا مع الزيادات الأسبوعية فى كلٍّ من متوسط قوة احتياج الثمار للغذاء المجهز fruits sink strength/ساق من اليوم التاسع قبل تفتح الزهرة إلى اليوم الثالث عشر بعد التفتح، ومتوسط عدد الثمار اليومى من اليوم التاسع إلى اليوم الأول قبل تفتح الزهرة. ويعنى ذلك إمكان التحكم فى التقلبات فى محصول الفلفل برصد ومراقبة متوسط قوة احتياج الثمار الأسبوعى للغذاء المجهز وعدد الثمار العاقدة (Homma وآخرون ٢٠٢٢).

تأثير منشطات ومنظمات النمو

عوملت نباتات ثلاثة أصناف من الفلفل الحلو الأحمر الثمار (هى: Barbero، و Ferrari، و Imperio) تحت ظروف الزراعة المحمية بالرش الورقى بكلٍّ من الحامض الدبالى humic acid، وحامض السلسيلك salicylic acid بتركيز صفر، و٠,٥، و١,٠، و١,٥ جم/لتر بعد ٢٠، و٤٠، و٦٠ يومًا من الشتل. أدت المعاملة باى من الحامضين إلى إحداث زيادات جوهرية فى النمو الخضرى، ومحصول الثمار، وصفات الجودة فى كل الأصناف. هذا إلاّ إن معاملة الرش الورقى بحامض السلسيلك كانت أكثر فاعلية عن معاملة الرش بالحامض الدبالى. أظهرت جميع الأصناف التى عُومِلت بالرش الورقى بحامض السلسيلك بتركيز ١,٥ جم/لتر أكبر نمو خضرى وأعلى محصول للثمار، وكذلك أعلى عدد للثمار وقطر ووزن طازج وجاف للثمار، ومحتوى من فيتامين ج ومواد صلبة كلية ذائبة، وحموضة معايرة، وسكر كلى عن نباتات جميع المعاملات الأخرى. وأظهرت نباتات الصنف Ferrari التى عُومِلت بالرش الورقى بحامض السلسيلك بتركيز ١,٥ جم/لتر أعلى وزن للثمرة (٢٠٢,٤١ جم)، وسمك للثمرة (٦٨ مم). ولقد أحدثت هذه

المعاملة — كذلك — زيادات فى المحصول الكلى بنسبة ٢٧,٧٪، و١٥,٩٪، و١٧,٩٪ فى الأصناف Barbero، و Ferrari، و Imperio، على التوالى (Ibrahim وآخرون ٢٠٢٠).

مكافحة الأمراض

إضافة السيليكون للمحاليل المغذية

كانت لإضافة السيليكون إلى المحلول المغذى تأثيرًا إيجابيًّا على مكافة الفطر *Botrytis cinerea* (Pozo وآخرون ٢٠١٥).

الباذنجان

تأثيرات الأشعة فوق البنفسجية

دُرس تأثير زيادة التعرض للأشعة فوق البنفسجية ب UV-B– الأمر الذى يحدث جراء التغيرات المناخية — على فسيولوجى وتشريح أوراق نباتات الباذنجان. وقد أدى التعرض للـ UV-B لمدة ٤٩ يومًا إلى إحداث خفض فى مستوى البناء الضوئى بأكثر من ٥٠٪ ومعدل الـ carboxylation بنسبة ٨٠٪، ومعدل انتقال الإليكترونات، وقدرة جهاز البناء الضوئى على تحويل الطاقة إلى منتجات كيميائية. كذلك أدت المعاملة إلى حدوث تحلل خفيف فى خلايا البشرة العليا للأوراق، كما أصبحت بارانشيمية الخلايا العمادية palisade parenchyma أصغر حجمًا واكثر إندماجًا؛ مما قلل من تأثير الأشعة على البارانشيمية الإسفنجية spongy parenchyma التى حافظت على نشاطها فى البناء الضوئى. وقد ازداد نشاط إنزيما SOD، و APX، بينما انخفض نشاط CAT (Ramanatti وآخرون ٢٠١٩).

دليل المساحة الورقية المناسب

يتوقف دليل المساحة الورقية leaf area index المناسب فى الباذنجان فى الزراعات المحمية على شدة الإضاءة؛ حيث يتأثر الدليل بالبناء الضوئى وتوازن الكربون فى النبات. ولقد وُجد أن التنفس ليلاً يرتبط بالبناء الضوئى نهارًا فى الأوراق السفلى. وقد

أُوصى بأن يكون دليل المساحة الورقية أقل فى الشتاء عما يكون عليه الحال صيفاً (Nomura وآخرون ٢٠٢٣).

الحرنكش

تأثير التظليل على النمو والتطور والمحصول

أدى استعمال شباك تظليل بيضاء تحجب ٦٠٪ من الإضاءة فى إنتاج الحرنكش (الست المستحية *Physalis ixocarpa* (صنف Tecozautla) إلى إحداث زيادة فى كلٍّ من طول النبات وقطره وعدد الفروع، ووزن الثمار وعددها وحجمها، وإلى زيادة المحصول بنسبة ٨٨٪، مع ارتفاع جوهرى فى pH الثمار، وذلك دون التأثير على محتواها من المواد الصلبة الذائبة، أو على حرارة الصوبة أو على الرطوبة النسبية فيها. وكان استعمال الشباك البيضاء أفضل من استعمال الشباك البيج والزرقاء والخضراء والحمراء والسوداء التى حجبت نفس النسبة (٦٠٪) من الإضاءة (Morales وآخرون ٢٠١٨).

الفصل الثالث

القرعيات

البطيخ

تأثير ألوان الطيف على نجاح التطعيم

وُجد أن تعريض شتلات البطيخ للضوء الأحمر مع نسبة ١٢٪–٢٤٪ من الضوء الأزرق يُحفِّز جعل الشتلات المطعومة بنوعية جيدة، وذلك عند إجراء هذه المعاملة خلال فترة التئام الأصل مع الطعم (healing). وقد وُجد أن التعريض للضوء من لمبات فلوروسنتية أو ضوء أزرق فقط من لمبات اللِد LED أنتج شتلات رديئة النوعية. هذا.. إلاّ إن التعريض للضوء الأزرق فقط أدى إلى أعلى معدل للبناء الضوئى، وتوصيل الثغور، والنتح. وعلى عكس ذلك، حفز التعريض للضوء الأحمر فقط طول الشتلة، ووزنها الرطب والجاف (نمو خضرى وجذرى)، ونسبة الجذور إلى النمو الخضرى، ولكن تبادل الغازات كان ضعيفًا، وكذلك كفاءة البناء الضوئى. أما معاملة الضوء الأحمر مع ١٢٪–٢٤٪ من الضوء الأزرق، فقد أعطت أفضل المواصفات للشتلة الجيدة (Bantis وآخرون ٢٠٢٠).

الخيار

التطعيم

أفاد تطعيم الخيار على أى من الأصول *Cucurbita ficifolia*، أو *Cucurbita moschata*، أو هجين القرع النوعى *Cucurbita maxima* × *C. moschata* فى تحمل النباتات لحرارة انخفضت عن ١٠ْم فى بداية الموسم، علمًا بأن حرارة التربة كانت أقل من المناسبة خلال الشهر الأول بعد الشتل. وأدى التطعيم على هجين القرع النوعى إلى تحسين النمو جوهريًّا من مارس إلى أبريل، وإلى زيادة المحصول المبكر، لكن مزايا التطعيم اختفت حوالى منتصف مايو باستثناء أصل هجين القرع النوعى الذى استمر فى تحسين محصول الخيار طوال الموسم. وبالمقارنة.. فإن التطعيم على *C. ficifolia* أنتج أقل محصول وأعطى أقل نمو بعد منتصف مايو (Guan وآخرون ٢٠٢٠).

التحكم فى الإضاءة

شدة الإضاءة

وُجد أن تعريض نباتات الخيار بين خطوط الزراعة للإضاءة زادت من احتياجات النباتت من العناصر المغذية فى حالة الإضاءة العلوية بملبات الـ high pressure sodium (اختصارًا: HPS). وبالتوازى.. فإن الإضاءة العلوية بلمبات اللِد LED أعطت محصولاً أعلى وأكثر ثباتًا مقارنة بالإضاءة العلوية بلمبات HPS (Kowalozyk وآخرون ٢٠٢٠).

تأثير ألوان الطيف

عند تعرض نباتات الخيار للضوء الأحمر لفترة طويلة، فإنه ينخفض فيها البناء الضوئى بشدة؛ حيث ينخفض فيها فلورة الكلوروفيل، وتقل قدرة البناء الضوئى، وكفاءة توصيل الثغور. ولكن يتغير كل ذلك عند إضافة الضوء الأزرق إلى الأحمر. ولدى مقارنة تعريض بادرات الخيار للضوء الأبيض أو الأحمر أو الأزرق أو لخليط من الضوء الأحمر والأزرق، وجد أن الضوء الأحمر منفردًا حدَّ بشدة من النمو النباتى وأحدث خللاً بالتركيب الدقيق للكلوروبلاستيدات، وحدٍّ من مواصفات البناء الضوئى، وراكم العناصر بكثرة؛ هذا.. إلاّ إن تلك التأثيرات اختفت بإضافة الضوء الأزرق إلى الأحمر. وكان تأثير الضوء الأزرق مماثلاً للأبيض من حيث التأثير على النمو النباتى والتركيب الدقيق للكلوروبلاستيدات، ومواصفات البناء الضوئى، وكلها تأثيرات تُفيد فى التغلب على الآثار السلبية للضوء الأحمر فقط (Miao وآخرون ٢٠١٩).

تأثير الأشعة فوق البنفسجية

تؤثر الأشعة فوق البنفسجية الطبيعية (مع ضوء الشمس) فى نمو وأيض النباتات، بينما تحد أغطية البيوت المحمية من وصول تلك الأشعة إلى داخل البيت بادمصاص الأغطية لها بقوة؛ الأمر الذى يحد من النمو الأمثل لبعض الأنواع النباتية. ولقد وُجد أن التعريض للأشعة فوق البنفسجية أ UV-A أدى إلى إنتاج نباتات خيار أقل طولاً وأكثر اندماجًا، وتلك صفات مرغوبة بستانيًّا. وفى المقابل.. أدى التعريض للأشعة فوق

البنفسجية ب UV-B إلى إنتاج نباتات أقصر بدرجة أكبر، لكن سيقانها لم تكن قوية. ولم تؤثر أى من المعاملتين جوهريًّا على محصول الثمار (Qian وآخرون ٢٠٢٠).

أغطية البيوت المحمية

فى دراسة قورنت فيها أربعة أنواع من الأغطية البلاستيكية للبيوت المحمية للخيار، هى: غطاء منفذ للأشعة فوق البنفسجية (UVT)، وغطاء غير منفذ لها (UVO)، وغطاء مصرى محلى، ورابع إنجليزى (STD)، وذلك على نمو ومحصول الخيار من صنفى أصيل Aseel، وصفا ٦٢ Safa 62.. وُجد أن حرارة الهواء كانت الأقل تحت غطاء UVO مقارنة بالأغطية الأخرى، وكانت إصابة الأوراق بمنِّ القطن فى بداية الموسم أقل جوهريًّا فى حالة غطاء الـ UVT، والـ UVO، كما كانت مستويات المركبات الفينولية بالأوراق الأقل فيهما أيضًا. وكان لنوع الغطاء تأثير جوهرى على محصول الثمار؛ حيث كان الإنتاج فى حالة الـ UVT والـ UVO الأعلى، وخاصة فى حالة الصنف صفا ٦٢ الذى ازداد محصولة بنسبة ١٣٪، و٢١٪، و٢٥٪ فى حالة أغطية الـ STD، والـ UVT، والـ UVO — على التوالى — وذلك مقارنة بحالة الغطاء المحلى (Abd El-Aal وآخرون ٢٠١٨).

الزراعات اللاأرضية

لم يظهر فرق جوهرى فى محصول الخيار فى المزارع اللاأرضية بين استعمال محلول مغذٍ كامل جديد باستمرار، وبين استعمال محلول مغذ جديد بنسبة ٨٠٪، ومستعمل بنسبة ٢٠٪، وذلك بعد الترشيح البطئ فى الرمل للجزء المستعمل للتخلص من مسببات الأمراض (Asraf وآخرون ٢٠٢١).

وقد تناول Khan وآخرون (٢٠٢١) موضوع المزارع المائية بالشرح من حيث مزاياها ومشاكلها، والخبرات التى تلزم لإقامتها، والاتجاهات الحديثة فى تقنياتها.

التوفير فى مياه الرى بالرى المتبادل بالتنقيط

يُعنى بالرى بالتنقيط المتبادل alternate root-zone drip irrigation تبادل بل وتجفيف منطقة نمو الجذور، وهى تقنية تُستخدم للتوفير فى مياه الرى. وقد وُجد أن تلك

التقنية زادت جوهريًّا من البناء الضوئى للخيار النامى فى البيت المحمىّ – مقارنة بالرى بالتنقيط التقليدى – وخاصة مع التسميد الآزوتى المعتدل، لكن التسميد الآزوتى بمستوى عالٍ حدَّ من الزيادة فى معدل البناء الضوئى (Zhang وآخرون ٢٠٢٣).

الــرى

لا تؤدى زيادة معدلات الرى مع الاضافات المثلى من النيتروجين إلى الاستمرار فى زيادة محصول الخيار؛ الأمر الذى قد يكون مرده إلى نقص الأكسجين فى محيط الجذور بعد الرى. وقد وُجد أن تهوية مياه الرى تُفيد فى خفض معدلات التسميد الآزوتى – التى تعطى أعلى محصول – وفى زيادة المحصول (Cui وآخرون ٢٠٢٠).

معاملات التغلب على عوامل الشدِّ البيئى

شد الملوحة

بعد سبعة أيام من تعريض بادرات الخيار لشدٍّ ملوحة قدره ٨٠ مللى مول/لتر كلوريد صوديوم أحدثت المعاملة خفضًا جوهريًّا فى نشاط الإنزيمات: hexokinase، و phosphofructokinase، و Pyruvate kinase، و isocitrate dehydrogenase، و succinate dehydrogenase، و malate dehydrogenase؛ مما سبب خفضًا فى كلٍّ من حامض البيروفك وحامض الستريك، والـ nicotinamide، والـ adenine dinucleotide، والـ adenosine triphosphate، والـ adenosine diphosphate بالأوراق. هذا.. إلاّ إن زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون حتى ٨٠٠ ± ٤٠ ميكرومول/مول وفَّرت طاقة إضافية لمنع أضرار شدِّ الملوحة؛ بزيادتها لإنتاج الهكسوز من خلال زيادة نشاط إنزيم الإنفرتيز، ومن خلال زيادة الكفاءة الأيضية للـ EMP pathway-TCA cycle التى تُنتج قدرًا كبيرًا من الطاقة (Li وآخرون ٢٠٢٠).

الفصل الرابع

الفراولـــة

أهمية الزراعة المحمية

أدت زراعة الفراولة فى البيوت البلاستيكية — مقارنة بالزراعات الحقلية — إلى زيادة المحصول المبكر والكلى، مع تميز فى صفات الجودة (الحجم ومحتوى المواد الصلبة الذائبة الكلية). وبينما أدت الزراعة المحمية إلى تثبيط تكوين المدادات، فإنها حفَّزت تكوين التيجان فى الفروع، وإلى زيادة المساحة الورقية وعدد الأوراق والكتلة البيولوجية للنموات الخضرية. لقد حَمَت الزراعة المحمية نباتات الفراولة من أضرار الشتاء، وبكَّرت الإنتاج بمدة خمسة أسابيع، مقارنة بالإنتاج فى الحقل المكشوف. وبقياس حرارة التيجان، وُجد أن حرارتها الدنيا والقصوى خلال الفترة من ديسمبر إلى فبراير كانت تزيد فى الزراعة المحمية بمقدار ٥، و١٢ °م — على التوالى — عن حرارة تيجان الزراعة الحقلية (Kadir وآخرون ٢٠٠٦ أ).

هذا.. ولم يكن لزراعة الفراولة تحت أنفاق منخفضة low tunnels داخل البيوت المحمية high tunnels (فى Greensboro بولاية نورث كارولينا) أى تأثير جوهرى على النمو أو التبكير فى الحصاد أو المحصول الكلى (Rana & Gu ٢٠٢٠).

وعند اتباع طرق الحماية من الحرارة المنخفضة فى الزراعات المحمية للفراولة تجب المحافظة على بقاء حرارة الأوراق أعلى عن — ٥ °م لأجل المحافظة على المستوى العالى من نشاط البناء الضوئى؛ بما يسمح بإطالة موسم النمو (Maughan وآخرون ٢٠١٥).

التحكم فى الإضاءة

وجد تحسُّنًا فى إزهار الفراولة التى عُرِّضت لإضاءة من لمبات اللِد LED، بينما تأخر الإزهار عندما ظُلِّلت النباتات. ولقد أظهرت الدراسة أن نمو وإزهار الفراولة كانا مُتباينين بدرجة عالية فى ظروف الإضاءة الضعيفة. ولقد كان للضوء أهميته فى حث

تكوين النورات الزهرية، وفى زيادة المحصول، وكانت لقوةٍ الإضاءة أهميتها فى المحافظة على تجانس الإزهار فى الزراعات المحمية (Wang وآخرون ٢٠٢٠).

وأدى استعمال ضوء إضافى أزرق من لمبات اللِد فى الزراعات المحمية خلال فترات النهار القصير.. أدى إلى تحسين النمو النباتى للفراولة وصفات جودة الثمار المنتجة (Stuemky & Uchanski ٢٠٢٠).

نُظم الزراعة

نظرًا لمحدودية النمو الرأسى لنباتات الفراولة — وكذلك — الخس، فإنه تكثر فيهما الزراعات الرأسية، وهى كثيرة ومتنوعة.

وللتفاصيل الخاصة باتجاهات الزراعات المحمية اللاأرضية الرأسية vertical farming.. يمكن مراجعة Beacham وآخرين (٢٠١٩).

بيئات الزراعة

وُجد فى دراسة لإنتاج الفراولة فى الزراعات المائية اللاأرضية الرأسية أن أفضل محصول كان عندما استُخدِمت بيئة برليت perlite مخلوطة بألياف جوز الهند أو الفيرميكيوليت مع التسميد بمحلول مغذى بمصادر كيميائية. ولقد انخفض المحصول بنسبة ١٥٪ عندما كان التسميد بمصدر مغذى سائل بيولوجى مع خلط الفيرميكمبوست ببيئة الزراعة (Wartman وآخرون ٢٠١٦).

كما وُجد لدى مقارنة بعض البيئات لإنتاج الفراولة فى الزراعات المحمية بتباينها فى التأثير على المحصول وصفات الجودة، وكان أفضلها بيئة ألياف جوز الهند coirfibre التى أعطت أعلى محصول وجودة للثمار، وكذلك أعلى محتوى من الأنثوسيانين بالثمار (Martinez وآخرون ٢٠١٧).

ولقد أسرعت بيئة قشور الأرز لزراعة الفراولة من إزهار الصنفين كاماروزا ومارك. وكان الصنفان كاماروزا وسِلفا بطيئين فى النمو فى بيئة قشور الأرز، بينما نمت نباتات

الصنف مارك بصورة بطيئة فى بيئة قشور الأرز مع نواتج تقليم شجرة الجميز (Ameri وآخرون ٢٠٢٠).

المحاليل المغذية

تأثير زيادة الملوحة

وُجد أن التوصيل الكهربائى EC للمحلول المغذى كان أكثر أهمية عن نسبة البوتاسيوم إلى الكالسيوم إلى المغنيسيوم (K : Ca : Mg) بالمحلول. ولقد أدت زيادة تركيز تلك العناصر كلها إلى خفض النمو الخضرى، وكان ذلك مُصاحبًا بزيادة كبيرة فى التوصيل الكهربائى لماء الصرف من ٢,٨ إلى ٥,٠ ديسى سيمنز/م، مع انخفاض جوهرى فى كل من توصيل الثغور (٤٤٪)، وصافى معدل البناء الضوئى (٣٩٪)، ومعدل التنفس (٤٣٪) مقارنة بالوضع فى حالة استعمال المحلول المغذى القياسى (Neocleous & Savvas ٢٠١٣).

ولقد وُجد فى مزرعة لاأرضية للفراولة أن إضافة كلوريد الكالسيوم إلى المحلول المغذى الكامل بتركيزات متزايدة من صفر حتى ٢٠ مللى مول كلوريد كالسيوم، أحدثت التأثيرات التالية:

١- لم تؤثر الملوحة على الأوزان الجافة للأوراق والتيجان والجذور الأولية المكتملة النمو، إلاّ إن الملوحة الأعلى عن ١٠ مللى مول خفَّضت الوزن الجاف لكلٍّ من المدادات والنباتات النامية من الأمهات daughter plants.

٢- خفَّضت الملوحة — كذلك — من الأوزان الجافة للجذور الأولية الجديدة والجذور الماصة.

٣- حدث احتراق بحواف الأوراق فى كل المعاملات بما فى ذلك معاملة الكنترول التى حدث فيها احتراق فى ١٤٪ من الأوراق، لكن الاحتراق ازداد بزيادة الملوحة حتى وصل إلى ٩٣٪ - ٩٨٪ من الأوراق فى أعلى تركيز للملوحة.

٤- أدت معاملات كلوريد الكالسيوم إلى زيادة تركيز الكالسيوم فى جميع الأعضاء النباتية، كما زادت كذلك من تركيز عناصر مغذية أخرى، شملت الحديد فى الأوراق

والمدادات والنباتات النامية من الأمهات، والبورون فى النباتات النامية من الأمهات، والزنك فى التيجان والنباتات النامية من الأمهات والجذور المغذية، لكن معظم العناصر الأخرى المقيسة انخفض تركيزها بمعاملة كلوريد الكالسيوم، وشملت النيتروجين فى المدادات والنباتات النامية من الأمهات والجذور الأولية الجديدة والجذور المغذية، والفوسفور والمنجنيز فى كل الأنسجة والأعضاء عدا التيجان، والكبريت فى النباتات النامية من الأمهات والبورون والزنك فى الجذور الأولية الجديدة (Bryla & Scagel ٢٠١٤).

التحليل الكهربائى للمحلول المغذى فى المزارع المغلقة

تتراكم فى المحاليل المغذية للمزارع المائية المغلقة closed hydroponics للفراولة إفرازات جذرية تُحدث سمية ذاتية autotoxicity. تحتوى تلك الإفرازات على عدة مركبات كيميائية، منها حامض البنزويك benzoic acid، الذى يعد أهم مثبط للنمو. وقد وجد أن معاملة التحليل الكهربائى electro-degradation للمحلول المغذى باستعمال تيار متردد alternate current فى مزرعة مغلقة أعطت محصولاً وسطاً بين معاملة تجديد المحلول المغذى مرة كل ٣ أسابيع ومعاملة التحليل الكهربائى للمحلول المغذى فى مزرعة مغلقة باستعمال تيار كهربائى مباشر direct current. وكان النمو النباتى أكبر فى حالة تجديد المحلول المغذى كل ٣ أسابيع، وتلاه معاملة عدم التجديد مع استعمال تيار متردد — الذى كان أكثر كفاءة فى تحليل حامض البنزويك — بينما انخفض النمو جوهريًّا فى معاملة عدم تجليد المحلول المغذى مع استعمال تيار ثابت، وهو الذى تماثل مع النمو فى معاملة عدم تجديد المحلول المغذى. وحدث اتجاه مماثل فى محتوى حامض الأسكوربك، بينما لم تحدث تباينات بين المعاملات فى محتوى المواد الصلبة الذائبة والحموضة المعايرة. وكان أقل تركيز جوهرى للعناصر مثل الكالسيوم والحديد فى المحلول المغذى والتيجان والجذور فى معاملة عدم تجديد المحلول المغذى مع استعمال تيار ثابت (Talukder وآخرون ٢٠١٩).

التغذية بثانى أكسيد الكربون

يُنتَج ثانى أكسيد الكربون المستخدم فى التغذية فى الصوبات — تقليديًّا — بمولدات خاصة يحرق فيها الوقود الأحفورى، ويعم الغاز كل هواء الصوبة. وعندما أضيف الغاز من خلال أنبوب مثقب وضع فى المسافة بين خطوط الزراعة بالقرب من النمو الخضرى، فإن ذلك أدى إلى زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون داخل النمو النباتى بنحو ١٠٠ إلى ٢٠٠ ميكرومول/مول لدى المقارنة بالطريقة التقليدية للتغذية بالغاز. وترتب على ذلك زيادات جوهرية بنحو ١٠٪–٢٦٪ فى متوسط وزن الثمرة، و١٣٪ فى عدد الثمار المتراكم، و٢٢٪ فى المحصول الصالح للتسويق المتراكم، وذلك مقارنة بالطريقة التقليدية. كذلك انخفض استهلاك وقود إنتاج الغاز بنحو ٢٧٪ (Hidaka وآخرون ٢٠٢٢).

معاملات التغلب على عوامل الشد البيئى

الملوحة

أدت إضافة السيليكون فى صورة سيليكات البوتاسيوم — بطريق الرى — فى مزرعة لا أرضية للفراولة — وذلك تحت ظروف شدٍّ ملحى قدره ٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم — إلى التغلب على التأثيرات السلبية للملوحة على المادة الجافة، والمساحة الورقية، وطول الجذور وحجمها، والمحتوى المائى النسبى للأوراق، ومحتوى الكلوروفيل، كما تغلبت المعاملة على ما أحدثته الملوحة من أضرار أكسدة، والتى تمثلت فى خفض دليل ثبات الأغشية الخلوية، وزيادة محتوى الـ malondialdehyde وفوق أكسيد الأيدروجين (Yaghubi وآخرون ٢٠١٦).

المنشطات الحيوية

وُجد فى دراسة على إنتاج الفراولة العضوية فى صوبة غير مدفأة أن الرش الورقى بمستخلص عُشب البحر *Ascophyllum nodosum* وبالسيليكون أحدث زيادة جوهرية فى المحصول المبكر والمحصول الكلى، وعدد الثمار الكلى مع انخفاض حوالى ٢٠٪ فى السكر، ومحتوى أقل من الفينولات فى القطفة الأولى. وقد تميز المحصول المبكر بارتفاع محتوى ثماره من الأنثوسيانينات (Weber وآخرون ٢٠١٨).

مكافحة الأمراض

أهمية التعريض للأشعة فوق البنفسجية

يُستدل من عديد من الدراسات أن تعريض النباتات أثناء نموها للأشعة فوق البنفسجية ج UV-C يُفيد فى مكافحة الأمراض، ليس فقط بسبب تأثيرها المطهر، وإنما — كذلك — بسبب أنها تُحفِّز الدفاع النباتى. ولقد وُجد أن تعريض نباتات الفراولة للأشعة فوق البنفسجية ج كان له تأثير إيجابى على الإزهار، ونمو الثمار؛ فلقد كان الإزهار أبكر فى حالة المعاملة بالأشعة فوق البنفسجية ج، وكان المحصول أعلى، على الرغم من إحداث المعاملة لنقص بسيط فى المساحة الورقية. ولم تؤثر المعاملة على قدرة الثمار التخزينية أو على صفاتها الفيزيائية (Forges وآخرون ٢٠٢٠).

وتُنتَج الفراولة فى البيوت المحمية — عادة — تحت أغطية بلاستيكية تمنع نفاذ الأشعة فوق البنفسجية (حوالى ٢٨٠ إلى ٤٠٠ نانوميتر). وعندما قُورن إنتاج الفراولة تحت أنواع مختلفة من الأغطية البلاستيكية: بوليثيلين يمنع نفاذ كل الأشعة فوق البنفسجية B تقريبًا، وغطاء من الـ ethylene tetrafluoroethylene (اختصارًا: ETFE) يحتوى على مانع لنفاذ للأشعة فوق البنفسجية، وغطاء ETFE آخر يسمح بنفاذ حوالى ٩٠٪ من الأشعة فوق البنفسجية B.. كانت إصابة النموات الخضرية — بصورة عامة — أعلى فى البيوت المحمية عما كانت عليه فى الحقل المكشوف لتوفر ظروف أنسب للمرض فى البيوت المحمية. هذا.. إلاّ إن شدة إصابة النموات الخضرية بالبياض الدقيقى فى البيوت المحمية تناسبت عكسيًّا مع نفاذية الأغطية للأشعة فوق البنفسجية. وكانت إصابة الثمار بالمرض الأعلى تحت غطاء البوليثيلين والأقل تحت غطاء الـ ETFE المنفذ للأشعة فوق البنفسجية (Onofre وآخرون ٢٠٢٢).

ولقد أمكن خفض شدة الإصابة بالبياض الدقيقى الذى يسببه الفطرين *Podosphaera aphanis*، و *Golovinomyces biocellatus* فى الفراولة بتعريض النباتات ليلاً للأشعة فوق البنفسجية ب UV-B بمستوى ١,٦ أو ٠,٨ وات/م^{٢}، وذلك

بنسبة ٩٠٪ إلى ٩٩٪. ولقد أفاد استعمال عاكسات ألومنيومية للمبات الـ UV-B، وكذلك استعمال أسطح عاكسة للأشعة فوق البنفسجية على أسطح بنشات الزراعة.. أفاد فى زيادة كفاءة المعاملة جوهريًّا. هذا وكان للتأثير المتجمع لجرعة الـ UV-B أثره فى الحدِّ من الإصابة بالمرض. وتحسَّنت مكافحة المرض فى الأنسجة المظللة أو غير المظللة باستعمال أسطح للبنشات عاكسة للأشعة عن محاولة تعديل النموات الخضرية فيزيائيًّا (Suthaparan وآخرون ٢٠١٦).

وأدت معاملة نباتات الفراولة بالأشعة فوق البنفسجية ج UV-C النشطة (٢٥٤ نانوميتر) بجرعة ٠,٨٥ أو ١,٧٠ كيلوجول/م^{٢} أربع مرات كل ثانى يوم — مع تكرار المعاملة — إلى زيادة حماية النباتات من الإصابة بالفطر *Botrytis cinerea* (السلالة Be1)، دون ظهور أى أضرار على النباتات جراء تلك المعاملة (Forges وآخرون ٢٠١٨).

كذلك وُجد أن تعريض مزارع الفطر *Botrytis cinerea*، أو نباتات الفراولة للأشعة فوق البنفسجية ج بجرعة ١٢,٣٦ جول/م٢ لمدة ٦٠ ثانية متبوعة بفترة ظلام مدتها ٤ ساعات أحدثت قتلاً كاملاً للجراثيم الكونيدية فى مزارع الفطر، وكانت عالية الكفاءة فى خفض عفن الثمار الرمادى والإصابة بالفطر. هذا.. ولم يكن لهذه المعاملة أية تأثيرات سلبية على إنبات حبوب لقاح الفراولة، أو نمو الأنابيب اللقاحية فى البيئة الصناعية أو فى قلم الأزهار، كما لم يكن لها أى تأثيرات سلبية على محصول الثمار أو جودتها فى الزراعة المحمية للفراولة (Janisiewicz وآخرون ٢٠١٦).

الفصل الخامس

الخـــس

التحكم فى الإضاءة

التظليل

أدى خفض الإضاءة بالتظليل بمقدار ١٠٪ مع التسميد الآزوتى بما مقداره ١٨٥,٤ كجم نيتروجين للهكتار إلى زيادة محتوى النترات إلى ١١٧٦، و١٨٢٦ مجم/كجم وزن طازج من الأوراق الداخلية والخارجية فى الخس الورقى، على التوالى. وأدى التظليل إلى خفض المحتوى الفينولى الكلى والنشاط المضاد للأكسدة. وأدى معدل التسميد الآزوتى العالى إلى خفض المحتوى الفينولى الكلى فى ظروف الإضاءة الكاملة، وإلى خفض النشاط المضاد للأكسدة فى ظروف التظليل (Stagnari وآخرون ٢٠١٥).

ولقد دُرس تأثير تظليل الخس بشباك تظليل تُوفر ٤٠٪ تظليل بألوان الأحمر والأصفر والرمادى الفاتح جدًّا (pearl) وبشباك تظليل سوداء توفر ٢٥٪ تظليل على جودة بعض أصناف الخس بعد التخزين. ولقد وُجد أن زراعة صنف الخس Ashbrook تحت الشبك الـ pearl حسَّن من محتوى حامض الأسكوربك والميريستين myricetin بعد التخزين بعد الحصاد. وأظهر الصنف الأحمر Exbury تحت الشبك الأسود قدرًا أكبر من المحافظة على محتوى حامض الأسكوربك والأنثوسيانين بعد التخزين. كذلك حسَّنت الشباك الـ pearl من محتوى البيتاكاروتين فى الصنف Aquarell بعد التخزين. وأظهرت كل الأصناف التى زُرعت تحت الشبك الـ pearl فقدًا أقل فى الوزن ومظهرًا أكثر قبولاً بعد التخزين (Ntsoane وآخرون ٢٠١٦).

ويلعب التظليل باستعمال شباك التظليل دورًا إيجابيًّا فى الحدَّ من مشكلة العيب الفسيولوجى: احتراق حواف أوراق الخس، وهذا الدور يخالف دور استعمال أغطية البوليثيلين كغطاء للبيوت المحمية. فلقد وُجد أن البوليثيلين وفَّر بيئة جيدة لنمو الخس

تمثلت فى زيادة الكتلة الجافة، إلاّ إن النباتات ظهر بها عيب احتراق حواف الأوراق أيًّا كان تركيز الكالسيوم المسمد به. أما شباك التظليل فقد وفَّرت بيئة مماثلة، ولكن بشدة إضاءة أقل، ترتب عليها انخفاض فى الكتلة الجافة للنباتات عما فى نباتات الكنترول، وكانت أوراق النباتات طويلة ورقيقة وتوزع فيها الكالسيوم، ولم تظهر حالات احتراق بحواف الأوراق أيًّا كان مستوى الكالسيوم فى التربة، بينما كان محتوى الكالسيوم بالأوراق أعلى مما فى نباتات الكنترول. وتعنى هذه النتائج أن هذا العيب الفسيولوجى يرتبط بالعوامل البيئية أكثر من ارتباطه بنقص الكالسيوم (Bárcena وآخرون ٢٠١٩).

وعمومًا.. فإن التظليل يفيد فى إنتاج خس بجودة عالية فى المناطق والمواسم التى لا يسودها جو بارد معتدل. وبدراسة تأثير التظليل بنسبة ٥٠٪ باستعمال shadecloth أسود على عدد من أصناف خس الرومين المتحمل للحرارة، وُجد أن التظليل — مقارنة بعدم التظليل — خفَّض حرارة الأوراق، والوزن الطازج للرؤوس، ومحتوى الجلوكوز والسكريات الكلية، والحلاوة، دون التأثير على المرارة، بينما أدى التظليل إلى زيادة محتوى كلوروفيل ب. وبذا.. فإنه لا يفضل التظليل عند إنتاج الأصناف المتحملة للحرارة فى ظروف الحرارة العالية، وذلك توفيرًا للنفقات مع إنتاج خس أكثر حلاوة عما لو تم تظليله (Alves وآخرون ٢٠٢٢).

تأثير ألوان الطيف وشدة الإضاءة

من المعروف أن الضوء الأحمر والأزرق ذوا فاعلية فى تحفيز البناء الضوئى. ولقد وُجد أن لنسبة الضوء الأزرق إلى الضوء الأحمر من لمبات اللِد LED أهمية فى التأثير على مورفولوجى الخس ونمو ومحتوى أوراقه من المركبات الفينولية ومضادات الأكسدة. وفى غياب الضوء الأزرق (١٠٠٪ ضوء أحمر) كانت الأوراق أكثر استطالة. وأثَّرت زيادة نسبة الضوء الأزرق سلبيًّا على نمو نباتات الخس، وكانت معظم خصائص النمو (مثل الوزنين الطازج والجاف للنمو الخضرى والمساحة الورقية) أعلى فى ظل صفر ضوء أزرق لصنفين ورقيين (بأوراق حمراء وخضراء)؛ حيث كان الوزن الطازج للأوراق أعلى بمقدار ٤,٣، و٤,١ مرة للصنفين — على التوالى — مقارنة

بوزنيهما فى إضاءة ٥٩ زرقاء 59 B لمدة أربعة أسابيع. هذا بينما أظهر تراكم الكلوروفيل والفينولات (بما فى ذلك الفلافونويدات) ومضادات الأكسدة فى كلا الصنفين اتجاهًا عكسيًّا لِما لوحظ بالنسبة للنمو، وذلك فى ظروف ضوء أزرق عالٍ (59 B أو 47 B أو 35 B، مقارنة بـ 0B أو الكنترول) (Son & Oh ٢٠١٣).

وبدلاً من زيادة الإضاءة طوال موسم النمو، دُرس تأثير الإضاءة الإضافية بالضوء الأحمر والأزرق فى نهاية موسم النمو – قبل الحصاد بخمسة أيام – من لمبات LED على لون الأوراق، وذلك فى أربعة أصناف من الخس، ووُجد أن المعاملة بالإضاءة الإضافية قبل الحصاد بما مقداره ١٠٠ ميكرومول/م^٢ فى الثانية من ١٠٠ :صفر، أو صفر: ١٠٠، أو ٥٠ : ٥٠ ضوء أحمر: أزرق حفَّز تكوين الصبغات الحمراء فى أوراق الأصناف المختبرة: Cherokee، و Magenta، و Ruby Sky، و Vulcan عندما كانت النباتات قد نمت فى إضاءة ضعيفة تقل عن ١٠ مول/م^٢ فى اليوم (Owen & Lopez ٢٠١٥).

وأظهرت دراسة على الخس الـ cos أن تعريض النباتات للضوء الأزرق والأحمر من لمبات LED بالتبادل (٩٠ ميكرومول/م^٢ فى الثانية لمدة ١٤ ساعة يوميًّا) أسهم فى تحسين النمو، وإلى استطالة الأوراق، وزيادة المساحة الورقية للنباتات (Jishi وآخرون ٢٠١٦).

ولقد وُجد أن تبادل تعريض الخس للضوء الأحمر والضوء الأزرق من لمبات الـ LED بصفة مستمرة أسرع النمو النباتى جوهريًّا، مقارنة بالنمو حال التعريض للضوء الأبيض، أو الأحمر أو الأزرق فقط عند نفس مستوى الشدة. ولقد تميزت النباتات التى تعرضت للضوءين الأحمر والأزرق بالتبادل بزيادة معدل البناء الضوئى فيها، والمساحة الورقية المعرضة للضوء، مع زيادة فى محتواها من السكريات وحامض الأسكوربك والأنثوسيانينات بالأوراق (Ohtake وآخرون ٢٠١٨).

ومن المهم التحكم فى نسبة الضوء الأخضر فى الإضاءة خلال مختلف مراحل نمو الخس لأجل زيادة الإنتاجية. ويمكن بعمل خفض معتدل فى الضوء الأصفر أثناء إنتاج الخس إحداث زيادة جوهرية فى محتوى السكريات الذائبة. ويُظهر الضوء البنفسجى

تأثيرات طفيفة على الكتلة البيولوجية للخس وصفاته المورفولوجية ومحتوى السكريات الذائبة (Liu وآخرون ٢٠١٨).

ووُجد أن الإضاءة اليومية بالضوء الأبيض + الضوء الأحمر من لمبات LED بنسبة ٢,٧ أشعة حمراء: زرقاء، وبشدة ١٢,٦٠ مول/م٢ يوميًّا أعطت أفضل إنتاج للخس (صنف Ziwei) فى المزارع المائية (Yan وآخرون ٢٠١٩).

وتبين أن تعريض الخس الورقى لضوء أزرق ضعيف الشدة يؤدى إلى زيادة مساحة الورقة، بينما يؤدى التعريض لضوء أزرق قوى الشدة إلى زيادة سمك الورقة، فى الوقت الذى تماثلت فيه الكتلة البيولوجية فى الحالتين (Hikawa وآخرون ٢٠١٩).

وقد أُجريت دراسة عُوملت فيها المزارع المائية للخس بمعاملات ضوئية مختلفة شملت ١٢ معاملة من مستويين من الـ PPFD (٢٠٠، و٢٥٠ ميكرومول/م٢ فى الثانية)، وفترتين ضوئيتين (١٤، و١٦ ساعة يوميًا)، وثلاث نوعيات من الإضاءة (لمبات لِد LED تعطى ضوء أحمر إلى أزرق بنسبة ١,٢، و٢,٢، ولمبات فلورسنتية بنسبة أحمر إلى أزرق ١,٨ للمقارنة). وبعد فترة العشرين يومًا من المعاملة شُتِل الخس فى بيئة متجانسة الإضاءة لمدة ٢٠ يومًا حتى الحصاد. ولقد أظهرت النتائج ازدياد طول الورقة ونسبة طول الورقة إلى عرضها لوغاريتميًّا بزيادة شدة الإضاءة، وأعطت اللمبات الفلورسنتية بادرات أكبر بأوراق أكبر، وبوزن جاف للأوراق والجذور أعلى مقارنة بملبات اللِد. وكان الوزن الرطب والجاف للخس عند الحصاد أعلى عندما كانت المعاملة بالتعريض للـ PPFD بمعدل ٢٠٠ ميكرومول/م٢ فى الثانية لمدة ١٦ ساعة أيًّا كانت نوعية الإضاءة فى مرحلة البادرة. ولقد كان محتوى فيتامين ج أقل فى النباتات التى تعرضت لإضاءة بالأحمر والأزرق بنسبة ١,٢، بينما لم تكن لمعاملات الإضاءة الثلاثة تأثيرًا أعلى محتوى النترات. وكانت أفضل معاملة لأعلى محصول وأفضل جودة هى PPFD بمعدل ٢٠٠ ميكرومول/م٢ فى الثانية لمدة ١٦ ساعة من لمبات لِد بنسبة أحمر : أزرق قدرها ٢,٢ (Yan وآخرون ٢٠١٩).

ووُجد فى مزرعة مائية أن تعريض نباتات الخس من صنف ورقى ذات أوراق قرمزية لإضاءة قوية (٥٠٠ ميكرومول/م٢/ثانية من الضوء الأحمر، والأزرق — من لمبات اللِد LED

بنسبة ٤ :١) لمدة قصيرة خلال فترة الإضاءة (١٦ ساعة) العادية (١٥٠ ميكرومول/م٢/ثانية) أدى إلى زيادة إنتاج الكتلة البيولوجية، إلاّ إن تأثير المعاملة على منتجات الأيض الثانوية لم يكن جوهريًّا. وعندما كان التعرض لمعاملة الإضاءة القوية تلك لمدة ٤ ساعات فإن المعاملة زادت من محتوى منتجات الأيض الثانوية (الأنثوسيانين، والفلافونويدات، والفينولات، وحامض الأسكوربك)، إلاّ إنها أحدثت شدًّا وضررًا photooxidate damage على النباتات (Shao وآخرون ٢٠٢٠).

وقد وُجد أن عرض أوراق الخس وأعدادها/نبات يزدادان بزيادة معدل الإضاءة اليومى، وأن زيادة الفترة الضوئية مع خفض لشدة الإضاءة يمكن أن يؤدى إلى زيادة المحصول. وقد تباينت الاستجابات المورفولوجية لمعدل الإضاءة اليومى باختلاف الأصناف، وأدت زيادة الإضاءة إلى زيادة دكنة التلون الأحمر فى أصناف الخس ذات الأوراق الحمراء (Kelly وآخرون ٢٠٢٠).

وفى محاولة لدراسة تأثير زيادة فترة الإضاءة اليومية من ١٢ إلى ٢١ ساعة بنفس القدر من الضوء اليومى النشط فى البناء الضوئى — وذلك بخفض شدة الإضاءة — وُجد أن هذه المعاملة أدت إلى زيادة الوزن الجاف للنبات، وزيادة كفاءة البناء الضوئى لكلِّ جول Joule إضاءة إضافية. وقد أدت المعاملة إلى زيادة المحتوى الكلوروفيللى وحجم الورقة، لكن ازدادت فى الوقت ذاته شدة أعراض احتراق حواف الأوراق سواء أكانت الأعراض قمية، أم حول الحواف (Weaver & van Iersel ٢٠٢٠).

وقد دُرِس تأثير تعريض الخس لأربع معاملات ضوئية (أحمر ٦٦٢ نانوميتر، وأزرق ٤٤٧ نانوميتر بنسبة ٤ : ١ وشدة إضاءة ١٥٠ ميكرومول/م٢ فى الثانية، وخليط من ٥٠ ميكرومول أخضر ٥٢٥ نانوميتر، وأصفر ٥٩٢ نانوميتر، وبرتقالى ٦٠٥ نانوميتر، وتحت أحمر ٧٤٢ نانوميتر وكنترول أحمر: أزرق بنسبة ٤ : ١ وشدة إضاءة ٢٠٠ ميكرومول/م٢ فى الثانية). أوضحت النتائج أن معاملات الضوء الأخضر والبرتقالى وتحت الأحمر أدت إلى زيادة الوزن الطازج بنسبة ٢٠,٥٪، و١٩,٦٪، و٤٠,٤٪ – على التوالى — وزيادة الوزن

الجاف بنسبة ٢٤,٢٪، و١٣,٤٪، و٤٥,٢٪ على التوالى، وذلك مقارنة بمعاملة التعريض للضوء الأزرق. هذا.. ولقد لوحظت الإصابة باحتراق حواف الأوراق فى معاملة الأشعة تحت الحمراء. وبذا.. اعتبر التعريض للأشعة الخضراء والبرتقالية مثاليًّا لنمو الخس (Li وآخرون ٢٠٢٠).

وأدت معاملة تبادل الضوء الأحمر مع الضوء الأزرق — مقارنة بمعاملة الضوء الأحمر والأزرق معًا فى آنٍ واحد، بنفس الشدة ونفس استهلاك الطاقة الكهربائية — إلى زيادة الوزنين الطازج والجاف ومحتوى الصبغات والسكر الذائب لخس الرؤوس ذات المظهر الدهنى. وكان تبادل الضوء الأحمر مع الضوء الأزرق لمدة ٣٠ دقيقة لكلٍّ منهما هو الأفضل من الناحية الاقتصادية لاستهلاك الطاقة، بينما كانت معاملة تبادل الضوء الأحمر مع الضوء الأزرق لمدة ٦٠ دقيقة لكل منهما هى الأفضل من حيث جودة الطعم؛ حيث أدت إلى زيادة محتوى السكر الذائب ودليل الحلاوة، وإلى انخفاض محتوى الألياف (Chen وآخرون ٢٠٢٢).

وعندما قورن تأثير ألوان مختلفة من الضوء من لمبات لِد LED (أحمر، وأزرق، وأبيض، و١ أحمر : ١ أزرق، و١ أحمر: ١ أزرق: ١ أبيض، وفلورسنتى للمقارنة) على نمو وجودة شتلات الخس فى مزرعة مائية بنظام الطفو floating system لمدة ٣٥ يومًا، وُجد ما يلى:

١- أدى التعريض للضوء الأحمر إلى زيادة الوزن الجاف للخس بنسبة ١٩,٣١٪ مقارنة بالكنترول، كذلك ازدادت السكريات الذائبة بنسبة ٤١٠,٧١ مقارنة بالكنترول.

٢- أدى التعريض للضوء الأزرق إلى زيادة البروتين بنسبة ١٨٥,٧١٪، والفينولات الكلية بنسبة ١٦٢,٣٣٪، والفلافونويدات الكلية بنسبة ٤٤٠,٦٧٪، وقدرة تضادية الأكسدة الكلية بنسبة ١٣,٣٣٪، والأنثوسيانين بنسبة ٢٣٣,٣٣٪، وفيتامين ج بنسبة ١١,٧٤٪ مقارنة بالكنترول.

٣- كان تركيز النترات فى معاملة الضوء الأزرق أعلى بنسبة ٤١٤٪ عما فى معاملة الضوء الأحمر.

وكانت كل هذه التأثيرات جوهرية عند مستوى ١٪.

وتعنى هذه النتائج أن الضوء الأحمر ينتج المواد الضرورية لنمو الأجزاء الهوائية من النبات، وأن الضوء الأزرق ينتج معظم مركبات الأيض الثانوية (Karami وآخرون ٢٠٢٢).

كذلك دُرس تأثير ألوان الطيف (أحمر وقرمزى وأزرق وأصفر وتوافيق منها) من لمبات لِدّ فيما بين الثامنة صباحًا ومنتصف الليل، ومستوى التسميد النيتروجينى (٥٠، و١٠٠، و١٥٠ جزء فى المليون) على نمو وجودة الخس النامى فى مزرعة لا أرضية، ووُجد أن الضوء الأحمر أحدث زيادة فى النمو، وكان محتوى الأوراق من النترات ١٢١٣,٢ جزء فى المليون فى مستوى تسميد نيتروجينى ٥٠ جزء فى المليون، و١٩٣٥,٤ جزء فى المليون فى مستوى تسميد ١٥٠ جزء فى المليون (Sahin & Seckin وآخرون ٢٠٢٢).

ومن بين ٢٦ صنفًا من الخس قُيمت فى مزرعة مائية، وُجد أن ٢٣ صنفًا منها نجحت زراعتها فى تلك المزراع. وعندما قُورنت الإضاءة الفلورسنتية بضوء لمبات اللِدّ، وُجد أن لمبات الفلورسنت حفَّزت استطالة ساق النبات، بينما انخفضت تلك الاستطالة جوهريًا فى حالة استعمال لمبات اللِدّ، وتماثلت صفات النبات الموروفولوجية الأخرى بين معاملتى الإضاءة. وتميزت إضاءة اللِدّ — كذلك — بزيادة نشاط البناء الضوئى (Nguyen وآخرون ٢٠٢٢).

التفاعل بين درجة الحرارة وشدة الإضاءة

فى دراسة تباينت فيها درجة الحرارة أثناء النمو، وُجد إنه فى الحرارة المنخفضة يوصى بأن تكون الإضاءة الإضافية قدرها ٣٥٠–٥٠٠ ميكرومول/م^{٢} فى الثانية، وبشدة مثالية قدرها ٣٥٠ ميكرومول/م^{٢} فى الثانية خلال الربيع المبكر والشتاء فى البيوت المحمية للخس. وفى الحرارة المتوسطة يوصى بأن تكون الإضاءة الإضافية قدرها ٣٥٠–٦٠٠ ميكرومول/م^{٢} فى الثانية، بشدة مثالية قدرها ٥٠٠ ميكرومول/م^{٢} فى الثانية فى منتصف الربيع والشتاء. أما فى الحرارة العالية، فإن شدة الإضاءة الإضافية التى يوصى

بها تكون ٥٠٠–٦٠٠ ميكرومول/م٢ فى الثانية، بشدة مثالية قدرها ٦٠٠ ميكرومول/م٢ فى الثانية خلال أواخر الربيع وبداية الخريف (Zhou وآخرون ٢٠١٩).

وقد دُرس تأثير مستويين من شدة الإضاءة: ١٦٠ ميكرومول/م٢/ثانية (G_1)، و٢٠٠ ميكرومول/م٢/ثانية (G_2)، ودرجة الحرارة (نهار/ليل): ٢٠ ± ١ °م /١٥ ± ١ °م (T_1)، و ٢٤ ± ١°م/ ١٩ ± ١°م (T_2) على نمو وفسيولوجى الخس وجودته. ولقد وُجد ما يلى:

١– أظهرت معاملة T_2G_2 زيادة فى كلٍّ من ارتفاع النبات، والكتلة البيولوجية، ومعدل صافى البناء الضوئى.

٢– أدت المعاملة T_1G_2 إلى خفض المساحة الورقية وخفض أقصى كفاءة للـ photosystem II، مقارنة بالمعاملة T_1G_1.

٣– أدت الزيادات المتزامنة فى شدة الإضاءة ودرجة الحرارة – مقارنة بالمعاملة T_1G_1 – إلى إحداث زيادة جوهرية فى محتوى الأنثوسيانين (٥٨٪)، وفيتامين ج (٢١٪)، والبروتين الذائب (١٧٢٪) (Chen وآخرون ٢٠٢١).

التفاعل بين شدة الإضاءة والتسميد الآزوتى

وُجد أن الظروف المثلى لنمو الخس كانت إضاءة شدتها ٢٣٧ ميكرومول/م٢ فى الثانية، وتركيز ٩,٢ مللى مول/لتر من النيتروجين، وذلك من حيث ما يتعلق بالكتلة البيولوجية الجافة للنبات، ومحتوى فيتامين ج، ومحتوى النترات (Yi وآخرون ٢٠٢١).

تأثير الأشعة فوق البنفسجية

يبدو أن الأشعة فوق البنفسجية تُعد أهم عامل فى تلون الخس الأحمر باللون الأحمر (Shioshita وآخرون ٢٠٠٧).

وقد وُجد أن تعريض الخس أثناء نموه للأشعة فوق البنفسجية أ UV-A يُحسِّن كل دلائل الجودة والقدرة التخزينية عندما كان التعريض لمستوى ١٠ ميكرومول/م٢ فى الثانية، بينما كان تأثير التعريض لمستوى ٤٠ ميكرومول/م٢ فى الثانية محدودًا مقارنة بالكنترول (Chen وآخرون ٢٠٢١).

بيئات الزراعة

أوضحت دراسة استُخدمت فيها مخاليط من مخلفات الفول السودانى أو الذرة مع الرمل بنسب مختلفة (١:١، و١: ٢، و١: ٣) كبديل للبيت موس فى إنتاج الخس أن استعمال مخلفات الفول السودانى مع الرمل بنسبة ١: ٢ كانت اقتصادية وأعطت أعلى ربحية (Gomah وآخرون ٢٠٢٠).

المحاليل المغذية والتسميد

احتياجات العناصر خلال مراحل النمو

تناقص امتصاص الخس — فى مزرعة مائية — لعناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم مع التقدم فى العمر، وذلك بعد حدوث انخفاض فى معدل النمو النباتى. هذا بينما لم تظهر اختلافات فى امتصاص عناصر الكالسيوم والمغنيسيوم والكبريت بين أسابيع النمو. كذلك لم تظهر أفضلية للامتصاص اليومى لأى من العناصر خلال النهار (Alboronz & Lieth ٢٠١٦).

وفى دراسة أخرى على الخس فى مزرعة غشاء مغذى يستمر فيها إعادة تدوير المحلول المغذى (recirculating)، وُجد أن دلائل النمو (عدد الأوراق، والوزن الجاف والنيتروجين المتراكم، ودليل المساحة الورقية) ازدادت ببطء خلال المراحل المبكرة للنمو، وأعقب ذلك زيادة خطية حتى حدٍّ أقصى. وعلى خلاف ذلك كان تركيز النيتروجين الكلى الأعلى خلال المراحل المبكرة من النمو، ثم انخفض قليلاً مع الوقت. وأدت زيادة تركيز النيتروجين فى المحلول المغذى من ١٠٠ إلى ٤٠٠ مجم/لتر إلى زيادة المحصول من ٥,٩ إلى ٦,٧ كجم/^{٢} فى الخريف، ومن ٨,١ إلى ١٠,٧ كجم/م^{٢} فى الشتاء، ومن ١٠,٣ إلى ١٢,٦ كجم/م^{٢} فى الربيع. وكانت كفاءة استعمال النيتروجين الأعلى عندما كان تركيز النيتروجين بالمحلول المغذى ١٠٠ مجم/لتر، وانخفضت بزيادة تركيز النيتروجين. وقد أوصى بتركيز ١٠٠–١٥٠ مجم N/ لتر من المحلول المغذى فى المزارع المائية للخس للحصول على أفضل نمو وأعلى محصول (Djidonou وآخرون ٢٠١٩).

التسميد الآزوتى للخس الآيس برج فى المزارع اللاأرضية

عندما قُورن التسميد الآزوتى لخس الآيس برج فى المزارع اللاأرضية بتركيزات ٧٥، و١٥٠، و٢٥٠ مجمN/لتر كان أعلى محصول (٣٩٩ جم/رأس)، وعدد أوراق (٤٠/نبات) ووزن جاف (٥,١٣٪) فى معاملة ١٥٠ مجم/لتر (Kilic ٢٠٢٢).

التركيز المناسب من الأمونيوم ومشاكل زيادته

وُجد أن زيادة النيتروجين الأمونيومى فى المحلول المغذى للخس عن ٥٠٪ حدَّ كثيرًا من النمو النباتى ومن تراكم الكالسيوم والبوتاسيوم فى النباتات. وأدت المعاملة بكربونات الكالسيوم إلى العمل كـ buffer حسَّن من النمو فى وجود التركيز العالى من الأمونيوم (Weil وآخرون ٢٠٢١).

تعديل تركيز العناصر حسب الحاجة

أظهر صنف دال indicator cultivar من الخس أعراض الإصابة باحتراق قمة الأوراق leaf tipburn قبل يومين من ظهورها على الصنف المستهدف من الزراعة؛ مما سمح بانقاذ الصنف المستهدف من الإصابة بإضافة مزيد من الكالسيوم للمحلول المغذى فى مزرعة مائية. وبتلك الطريقة أمكن تحسين المحصول بنحو ٤٪ إلى ٧٠٪ (Uno وآخرون ٢٠١٦).

التسميد بالأسمدة العضوية السائلة

دُرس تأثير ستة أنواع من الأسمدة العضوية السائلة أساسها سمكى أو نباتى على نمو نباتات الخس وكتلته البيولوجية فى مزارع لا أرضية، وكانت أفضل الأسمدة، هى التى كان أساسها السمك fish based (K 1 : P 1: N 5)، والتى أساسها السمك والنبات fish- and plant based (K 1 : P 5 : N 2، و K 2: P 3 : N 3) (Shaik وآخرون ٢٠٢٢).

إضافة مستخلص الفيرموكمبوست

دُرس تأثير إضافة مستخلص الفيرميكمبوست vermicompost tea للمحاليل المغذية بتركيز ١,٦٪، و٣,٢٪ للخس، و٠,١٤، و٠,٢٨٪، و٠,٥٦٪ للطماطم فى مزارع مائية مغلقة

(static, non-circulating)، مع خفض تركيز المحلول المغذى إلى ٢٥٪ أو إلى ٥٠٪. وقد وُجد إنه حتى مع استعمال التركيزات المنخفضة من مستخلص الفيرميكمبوست، فإن محصول الخس والطماطم ازداد جوهريًّا حتى مع تخفيض تركيز المحلول المغذى إلى ٢٥٪ فى الخس وإلى ٥٠٪ فى الطماطم. ويعتقد أن مرد تلك الزيادة فى المحصول كانت إلى ما يحتويه مستخلص الفيرميكمبوست من هرمونات نباتية، مثل الأوكسينات والسيتوكينينات والجبريللينات (Arancon وآخرون ٢٠١٩).

تعديل pH المحاليل المغذية

عندما أُنتج الخس بتقنية الغشاء المغذى لم يكن لـ pH المحلول تأثيرًا على معدل الإصابة باحتراق حواف الأوراق، لكن أعلى محصول كان فى pH ٦,٠–٦,٢ للمحلول المغذى. وتحققت أفضل مكافحة لاحتراق حواف الأوراق بالرش الورقى مرتين أسبوعيًّا بكلوريد الكالسيوم بتركيز ٤٠٠ أو ٨٠٠ مجم Ca/لتر، دون أن يكون لذلك تأثيرًا يذكر على المحصول (Samarakoon وآخرون ٢٠٢٠).

تأثير الفقاعات الهوائية الميكرو

تتباين أصناف الخس فى استجابتها للـ microbubbles فى المحاليل المغذية وفى التعرض للضوء الأزرق والأحمر من لمبات اللِد LED. وعمومًا فإن النموات فوق الأرضية للنبات تقل باستعمال الـ microbubbles، وكان ذلك الانخفاض جوهريًّا فى الصنف Fancy Green عندما عُرِّض للضوء الأحمر–الأزرق red-blue LED (Tsuchida وآخرون ٢٠٢١).

تعقيم المحاليل المغذية

تُفيد معاملة المحاليل المغذية بفقاعات ميكرو microbubbles – بمعدل ٠,٢ مجم/لتر من الأوزون المذاب – فى تعقيمها بكفاءة، إلاّ إن هذه المعاملة تؤدى إلى أكسدة الحديد وترسيبه؛ ومن ثم نقص تركيز الحديد جوهريًّا فى المحاليل المعاملة. ومع ذلك فإن نمو الخس الورقى فى الزراعات المائية المعاملة بهذه الطريقة لم يتأثر وكان مماثلاً

لنمو نباتات معاملة الكنترول، وربما يكون مرد ذلك إلى إن جذور الخس الورقى تُفرز ريبوفلافين (Tamaki وآخرون ٢٠٢٠).

معاملات منشطات النمو الحيوية

دُرس تأثير تسعة منتجات من منشطات النمو الحيوية المستمدة من مركبات هيومية، أو أحماض أمينية، أو بروتينات متحللة، أو مستخلصات أعشاب بحرية.. دُرس تأثيرها على نمو وجودة ثلاثة أصناف من الخس فى مزارع مائية لمدة شهر تحت ظروف متحكم فيها من حيث مقدار الإضاءة اليومية (حوالى ١٣ مول/م٢ يوميًّا)، وحرارة النهار والليل (٢١/٢٢ °)، والرطوبة النسبية (٧٠٪)، وتركيز ثانى أكسيد الكربون (٨٠٠ ميكرومول/مول). أظهرت الدراسة عدم وجود أى تأثيرات إيجابية لاستعمال أى من تلك المنشطات الحيوية لا على صفات النمو النباتى (المساحة الورقية، وعدد الأوراق، وقطر النمو الخضرى، والوزن الجاف للنمو الخضرى والجذرى)، ولا على المحصول، أو صفات الجودة (الحنبطة، واحتراق حواف الأوراق، ولون الأوراق، والـ SPAD) فى كل الأصناف؛ فلم تختلف تلك الصفات عما كان عليه الحال فى نباتات الكنترول. هذا.. بينما كان لأحد مستخلصات الطحالب البحرية تأثيرات سلبية (Gómez & Gómez ٢٠٢٢).

معاملات التغلب على عوامل الشد البيئى

الملوحة

أمكن التغلب على شدِّ الملوحة فى المزارع المائية للخس باستعمال غطاء بلاستيكى أبيض للبيت المحمىِّ مع الرش بالبرولين بتركيز ٥ ميكرومول؛ حيث أدى ذلك إلى زيادة المحصول تحت ظروف الملوحة (Orsini وآخرون ٢٠١٨).

نقص العناصر

بينما أدى نقص البوتاسيوم فى المحاليل المغذية إلى ٢ مللى مول K إلى تثبيط نمو الخس فى المزارع المائية.. فإن رش النباتات بالبرولين بتركيز ١,٠ أو ١,٥ مللى مول أدى

إلى التغلب على حالة تثبيط النمو تلك. وتحت ظروف نقص البوتاسيوم حثَّت المعاملة بالبرولين من نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، وزادت من محتوى الأوراق من البرولين والسكريات الذائبة وحامض الأسكوربك، وخفَّضت من مستويات الـ MDA، وأكسدة الدهون وفوق أكسيد الأيدروجين؛ الأمر الذى حدَّ من أضرار الأكسدة. وبدا أن معاملة البرولين أدت إلى زيادة معدل النمو النسبى، من خلال زيادتها لنسبة المساحة الورقية بصفة أساسية، وصافى معدل البناء الضوئى بدرجة أقل (Zhang وآخرون ٢٠٢٠).

معاملات تحسين القيمة الغذائية

التظليل

أحدثت أقمشة التظليل الحمراء والزرقاء والسوداء التى تسبب تظليلاً بنسبة ٥٠٪.. أحدثت خفضًا فى محتوى الفلافونويدات (الليوتين والكورستين) فى صنفى الخس Two Star الأخضر، و New Red Fire الأحمر وخفضًا فى الجلوكوسيد سيانيدين cyanidin فى الصنف الأحمر وقد تباين المحتوى الفينولى بين صنفى الخس؛ حيث احتوى الصنف الأخضر على قدر أكبر من الجلوكوسيد كورستين وحامض الكافيك عن الصنف الأحمر، بينما احتوى الصنف الأحمر على تركيزات أعلى من حامض الكلوروجنك والليوتيليون lutelion والمالونيل كورستين malonyl quercetin. ولقد أدت أقمشة التظليل إلى خفض حرارة بيئة الزراعة والإشعاع النشط فى البناء الضوئى إلى نصف شدته فى ضوء الشمس الكامل تقريبًا؛ مما أسهم فى خفض توصيل الثغور، ومعدل نتح الأوراق، كما أدت إلى خفض محتوى المركبات الفينولية (Li وآخرون ٢٠١٧).

التحكم فى ألوان الطيف وشدة الإضاءة ونسبة ثانى أكسيد الكربون

وجد أن النمو والبناء الضوئى يزدادان بزيادة نسبة الضوء الأحمر، بينما يؤدى ذلك إلى خفض محتوى الكلوروفيل والفينولات، وحدث نفس الانخفاض فى مستوى الفينولات المفردة بما فى ذلك حامض الكلوروجنك وحامض الكافيك وحامض الشيكورك وحامض الفيرولك، والـ kaempferol. وعلى الرغم من أن تركيز المركبات النشطة بيولوجيًّا ازداد

فى الضوء الأزرق فإن محتوى كل منها/نبات كان أعلى فى الضوء الأحمر، وهو الذى ساهم فى زيادة الكتلة البيولوجية (Son وآخرون ٢٠١٧).

وعندما عُرِّضت نباتات الخس النامية فى مزرعة مائية لمعاملات ضوئية مختلفة من حيث لون الإضاءة (أحمر، أو أخضر، أو أزرق، أو نسب مختلفة منها) مع تباين شدة الإضاءة الفعالة فى البناء الضوئى photosynthetic photon flux density (اختصارًا: PPFD)، كانت النتائج كما يلى:

١- فى معظم الحالات أعطت المعاملة بالضوء الأحمر والأخضر والأزرق بنسبة ٦: ٢: ٢، وشدة إضاءة PPFD ١٥٠ ميكرومول/م٢/ثانية أكبر كتلة بيولوجية (معاملة A2).

٢- أعطت المعاملة بالضوء الأحمر والأخضر والأزرق بنسبة ٢: ٢: ٦ وشدة إضاءة PPFD ١٥٠ ميكرومول/م٢/ثانية أعلى مُعامِلات فسيولوجية (معاملة B2).

٣- حُصِلَ على وزن جاف أعلى فى معاملة الضوء الأحمر والأخضر والأزرق بنسبة ٧: صفر: ٣ وشدة إضاءة PPFD ١٥٠ ميكرومول/م٢/ثانية (معاملة A1).

٤- لم تُلاحظ فروق جوهرية بين المعاملات فى كلوروفيل أ، ب.

٥- كانت معاملة الإضاءة A1 الأعلى فى محتوى الأوراق من السكر الذائب.

٦- ازداد محتوى الأوراق من البروتين الذائب فى المعاملات التى كان بها نسبة أعلى من الضوء الأزرق.

٧ - كان أعلى محتوى لفيتامين ج فى المعاملة B3 (ضوء أحمر وأخضر وأزرق بنسبة ٣: صفر: ٧، و PPFD ١٢٠ ميكرومول/م٢/ثانية)، وكان أقل محتوى فى المعاملة A1 (Lin وآخرون ٢٠١٨).

كما وُجد أن الكتلة البيولوجية للخس والمساحة الورقية تزداد باضطراد تدريجيًّا بزيادة شدة الإضاءة الـ LED حتى ٢٥٠ ميكرومول/م٢ فى الثانية (من الضوء الأحمر والأزرق بنسبة ٣: ١ لمدة ١٦ ساعة)، كما كانت تلك النباتات أعلى محتوى فى مضادات

الأكسدة، والفينولات، والفلافونويدات، مقارنة بإضاءة ١٥٠ ميكرومول/م[٢] فى الثانية (Pennisi وآخرون ٢٠٢٠).

وقد أُجريت دراسة حول تأثير شدة الإضاءة وألوان الطيف الأزرق والأحمر لمدة أربعة أيام — فقط — قبل نهاية موسم النمو — وذلك توفيرًا للنفقات — على جودة الخس وقيمته الغذائية، ووُجد أن تلك المعاملة لم تؤثر على المحتوى الفينولى الكلى أو على تركيز الكاروتينويدات فى النباتات، إلاّ إن محتوى الأنثوسيانين والقدرة على تضادية الأكسدة تحسنًا إيجابيًّا بالمعاملة الضوئية قبل الحصاد بالضوء الأزرق وبشدة الإضاءة العالية، بينما لم تختلف المعاملة قبل الحصاد بالأشعة فوق البنفسجية فى القيمة الغذائية عن معاملة الكنترول (Gomez & Jiménez ٢٠٢٠).

ولقد أُجرى استعراض للدراسات التى أُجريت حول تأثير نوع وشدة الإضاءة على نمو الخس فى المزارع اللاأرضية، وتراكم المركبات الهامة طبيًّا فيه (Ruangrak & Khummueng ٢٠٢٠).

أهمية تركيز ثانى أكسيد الكربون مع الإضاءة

عُرِّضت بادرات أصناف خضراء وحمراء من الخس لثانى أكسيد الكربون إما بالتركيز العادى (٤٠٠ ± ٢٠ ميكرومول/مول)، وإما بتركيز مرتفع (٧٠٠ ± ٢٠ ميكرومول/مول) لمدة ٣٥ يومًا، وبعد ذلك عُرِّضت لشد ملحى (٢٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم) لمدة أربعة أيام. وقد أظهرت الأصناف الحمراء قيمة غذائية أعلى عن الأصناف الخضراء؛ بسبب ارتفاع محتواها من كلٍّ من الكالسيوم والفوسفور والزنك، وكلوروفيل أ، وكلوروفيل ب، والكاروتينويدات، وحامض الأسكوربك، والفينولات الكلية، والأنثوسيانينات، ومضادات الأكسدة. ومع زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون أظهرت أصناف الخس بلونيها زيادة فى امتصاص كل العناصر تقريبًا باستثناء المغنيسيوم والحديد. وتحت ظروف شد الملوحة انخفض تركيز النيتروجين والبوتاسيوم فى كل الأصناف، وكذلك انخفض تركيز الكالسيوم والمغنيسيوم والفوسفور فى الأصناف الحمراء. وبدا واضحًا أن الأصناف الحمراء

كانت أكثر استفادة من زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون عن الأصناف الخضراء. وتعنى تلك النتائج أن زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون منفردًا أو مع شدِّ الملوحة لفترة قصيرة يسمح بتحسين جودة القيمة الغذائية (Pérez-López وآخرون ٢٠١٥).

وأدى التعريض المستمر للضوء بشدة إضاءة عالية إلى مضاعفة تركيز حامض الكلوروجنك (وهو مضاد أكسدة قوى يقلل أضرار الأكسدة فى خلايا الإنسان) فى نباتات الخس فى إضاءة ٢٠٠ ميكرومول/م٢ فى الثانية، مقارنة بإضاءة ١٠٠ ميكرومول/م٢ فى الثانية. كذلك أدت زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون إلى زيادة تركيز حامض الكلوروجنك إلى أربعة أضعاف عند تركيز ١٠٠٠ جزء فى المليون للغاز، مقارنة بتركيز ٤٠٠ جزء فى المليون. وفى إضاءة ٢٠٠ ميكرومول/م٢ فى الثانية وتركيز ١٠٠٠ جزء فى المليون من ثانى أكسيد الكربون ازداد تركيز حامض الكلوروجنك إلى ١٩٩ مجم/١٠٠ جم وزن طازج من الخس. لوحظت تلك التأثيرات فى ظروف الضوء المستمر سواء أكانت من اللمبات الفلورسنتية أم من ضوء الـ LED الأزرق، ولكن ليس ضوء الـ LED الأحمر. وقد استمرت تلك التأثيرات لمدة يومين فقط من بدء المعاملة. وربما كان مرجع تلك التأثيرات إلى أن الشد الفسيولوجى الناتج عن البناء الضوئى الزائد فى ظروف الإضاءة المستمرة ينتج عنه زيادة فى محتوى حامض الكلوروجنك لحماية النباتات من الشوارد النشطة فى الأكسدة (Shimomura وآخرون ٢٠٢٠).

إضافات المحلول المغذى لتحسين القيمة الغذائية

اليـــود

أمكن زيادة محتوى الخس النامى فى تقنية الغشاء المغذى من اليود، وذلك بتوفير اليود فى صورة 5-iodosalicylic acid (اختصارًا: 5I-SA) بتركيز ١,٦ أو ٨,٠ ميكرومول I فى المحلول المغذى. هذا مع العلم بأن تلك المعاملة لم تؤثر على وزن رأس الخس أو صفاته المورفولوجية (Smolen وآخرون ٢٠١٧)

الزنــك

أمكن بتعديل تركيز الزنك فى المحلول المغذى لمزرعة مائية من الخس إلى ٥ مجم/لتر بداية من اليوم السابع قبل الحصاد زيادة محتوى الزنك فى الخس الورقى إلى ثمانية أضعاف تركيزه فى نباتات الكنترول دون حدوث أى تأثير سلبى على النمو النباتى. وعندما أضيف الجلوتاثيون glutathione المؤكسَد للمحلول المغذى مع الزنك وصلت الزيادة فى محتوى الزنك إلى ١٦ ضعف التركيز فى نباتات الكنترول (Atsushi وآخرون ٢٠٢١).

الأحماض الأمينية

وُجد عندما سُمِّد الخس فى مزرعة مائية بالجليسين بتركيز ٩ مللى مول/لتر لمدة أربعة أسابيع مقارنة بالتسميد بالنترات بنفس التركيز أن الجليسين حفَّز تراكم المركبات التالية:

- الـ glycosylated flavonoids التالية: quercetin 3-glucoside، و quercetin 3- (6''-malonyl-gluoside)، و luteolin 7-glucuronide، و luteolin 7-glucoside).
- حامض الأسكوربيك.
- الأحماض الأمينية: L-valine، و L-leucine، و L-glutamine، و asparagine، و L-serine، و L-ornithine، و 4-aminoutanoic acid، و L-phenylalanine.

هذا.. إلاّ أن المعاملة خفضت كلاً من:

- الأحماض الفينولية التالية: dihydroxybenzoic acid، و hexose isomers 1 and 2، و chicoric acid، و chicoric acid isomer 1.
- الـ TCA intermediates: الأحماض fumaric، و malic، و citric، و succinic.

ويستفاد مما تقدم بيانه أن التسميد بالأحماض الأمينية يُغير من القيمة الغذائية للخس (Yang وآخرون ٢٠١٨).

مكافحة الأمراض

المعاملة بالأشعة فوق البنفسجية

وُجد أن نباتات الخس التى عُرِّضت للأشعة فوق البنفسجية ج UV-C كانت أقل قابلية للإصابة بالفطرين *Botrytis cinerae*، و *Sclerotinia minor*، وخاصة فى اليوم الرابع بعد العدوى. وكانت نباتات الخس التى عُومِلت بالأشعة وحقنت بالفطرين أعلى محتوى من الكلوروفيل والكاروتينويدات — وخاصة بعد ٢٤ ساعة من العدوى — وأقل فى اثنين من دلائل الشد التأكسدى عما فى النباتات التى حُقنت ولم تعرض للأشعة (Ouhibi وآخرون ٢٠١٥).

المكافحة الحيوية

دُرست فاعلية المعاملة بسلالات مختلفة غير ممرضة non-pathogenic من الفطرين: *Fusarium oxysporum*، و *F. solani*، ومن كائنات المكافحة الحيوية التجارية: *Streptomyces griseoviridis*، و *Bacillus subtilis*، و *Beauveria bassiana*، وكذلك فاعلية مركبات أساسها أكسيد الكالسيوم (CaO)، وفوسفايت البوتاسيوم potassium phosphite على السلالة ١ من الفطر *F. oxysporum* f. sp. *lactucae* مسبب مرض الذبول الفيوزارى فى الخس. أُجريت المعاملات على بادرات الخس التى نُميِّت لمدة يومين فى مزرعة لا أرضية أساسها البيت موس بنظام مغلق closed قبل عدواها بالفطر المرض، ثم كُرِّرت خمس مرات على فترات أسبوعية. أظهرت الدراسة أن سلالاتا *F. oxysporum* غير المرضة: MSA35، و FC3 وفرتا أعلى خفض فى شدة الإصابة بالمرض (٥٤٪–٨٣٪ كفاءة) عن *B. subtilis* التجارية (٢٩٪–٣١٪ كفاءة)، و *S. griseoviridis* (٢٢٪–٥٢٪ كفاءة)، و *B. bassiana* (٣٩٪– ٦٣٪ كفاءة).

وحققت سلالتا *F. oxysporum* غير المرضة: MSA35، و FC3 أعلى وزن نباتى طازج؛ الأمر الذى عكس الخفض فى شدة الإصابة المرضية. ولقد خفَّضت المعاملة بأى من أكسيد الكالسيوم وفوسفايت البوتاسيوم حماية من المرض لكن دونما انتظام فى كفاءتيهما (Gilardi وآخرون ٢٠٢٢).

الفصل السادس

محاصيل خضر أخرى

نتناول بالشرح فى هذا الفصل التقدمات فى دراسات محاصيل أخرى من الخضر تحت ظروف الزراعات المحمية. وبعض تلك الخضر تُنتج بالفعل فى المحميات — مثل الفاصوليا الخضراء — إلاّ إن بعضها الاخر لا يُنتج — عادة — فى تلك الظروف، ولكن قد تتطلب الأسواق إنتاجها فى الزراعات المحمية بالنظر للحاجة إلى إمدادات طازجة منها بصورة دائمة، أيًّا كانت الظروف البيئية الخارجية فى مناطق إنتاجها.

الفاصوليا

معاملة المحاليل المغذية بالبكتيريا المثبتة لآزوت الهواء الجوى

أجريت محاولة لاستبدال السماد الآزوتى فى المحلول المغذى للمزارع المائية للفاصوليا طول موسم نموها.. استبداله كلية بالبكتيريا المثبتة لآزوت الهواء الجوى: السلالة CIAT899 من *Rhizobium tropici*، أو مُنتج تجارى يحتوى على بكتيريا مُثبتة للآزوت، وخاصة rhizobia، و *Azotobacter* sp. وقد أحدث غياب النيتروجين خفضًا كبيرًا فى النمو النباتى والمحصول، وكذلك فى امتصاص النبات لعناصر البوتاسيوم والمغنيسيوم والزنك، ولم تؤدِ معاملتى البكتيريا إلى تصحيح هذا الوضع، على الرغم من أن المعاملة بالبكتيريا *R. tropici* أحدثت زيادة كبيرة وجوهرية فى عدد العقد الجذرية/نبات إلى ٨٠ عقدة، مقارنة بمتوسط قدره ٩ عقد/نبات — فى المتوسط — فى المعاملات الأخرى، بما فى ذلك معاملة الكنترول التى زُوِّدت — فقط — بمحلول مغذ كامل. وقد تغلبت المعاملة بالبكتيريا *R. tropici* جزئيًّا على ضعف النمو والمحصول فى غياب النيتروجين. وكان لنقص النيتروجين وضعف امتصاص البوتاسيوم فى بداية حياة النبات — فى غياب التسميد بالنيتروجين — أثره السلبى فى الحد من التأثير الإيجابى للمعاملة بالبكتيريا *R. tropici* (Kontopoulou وآخرون ٢٠٢١).

الأسبرجس

تأثير غطاء الصوبات العاكسة للأشعة القريبة من تحت الحمراء

يوجد اتجاه نحو إنتاج الأسبرجس فى البيوت المحمية. ولقد دُرس تأثير غطاء عاكس للأشعة القريبة من تحت الحمراء near-infrared-reflective diffusion coating فى بيوت محمية بلاستيكية بسيطة، ووُجد أن هذا الغطاء قلل من متوسط حرارة الهواء داخل الصوبة بما مقداره ٠,٣ إلى ٠,٩ °م، وحرارة النمو الخضرى بما مقداره ٢,٣، و٢,٤، و٢,٤ °م على ارتفاع ٥٠، و١٠٠، و١٥٠ سم، على التوالى. ولوحظ تحسُّنا فى تجانس توزيع الإضاءة داخل الصوبة رغم انخفاض شدتها بمقدار ١٨,٩٪ (مقارنة بانخفاض قدره ١٦,٨٪ فى حالة عدم الـ coating). وبذا.. تحسَّن البناء الضوئى فى قاعدة النمو الخضرى وفى منتصفه. وأدت هذه المعاملة إلى زيادة محصول المهاميز بمقدار ٣١,٤٪ صيفًا، و١٠,١٪ فى الحصاد التالى، مع انخفاض فى محتوى الألياف بالمهاميز وزيادة فى محتواها من كلٍّ من الكالسيوم والمغنيسيوم (Chen & Shen ٢٠٠٢).

البـامية

الإنتاج بمياه المزارع السمكية

أمكن إنتاج البامية بنجاح فى مزرعة مائية يُستخدم فيها مياه تربية السمك *Pangasianodon hypophthalmus* بصورة دوارة recirculating فى نظام aquaponic فيه نسبة السمك إلى البامية ٤,٧ كجم/م^{3}: ٦ نباتات بامية لكل تانك. وتطلب الأمر رش البامية بالبوتاسيوم بمعدل ٥ جم/لتر لتحفيز نمو البامية وزيادة المحصول، دون أن يكون لذلك أى تأثير سلبى على المزرعة السمكية (Meena وآخرون ٢٠٢٢).

السبانخ

الإنتاج تحت شباك التظليل صيفاً

دُرس تأثير استعمال الشباك الخافضة للأشعة تحت الحمراء وشباك التظليل على إنتاج السبانخ صيفًا فى البيوت المحمية. تسمح الشباك الخافضة للأشعة تحت الحمراء

بنفاذ حوالى ٦١٪ من الضوء المرئى وتمتص حوالى ٥٠٪–٥٤٪ من الأشعة تحت الحمراء بين طول موجى ٧٠٠ إلى ٢٦٠٠ نانوميتر. كانت حرارة الهواء داخل الصوبة المغطاة بالشباك الخافضة للأشعة تحت الحمراء أقل بنحو ٦–٨ °م عما فى حالة غيابها، وهو تأثير تَماثل — تقريبًا — مع تأثير استخدام شباك تغطى ٥٠٪ تظليل. ولقد ازداد نمو السبانخ النامية تحت تلك الشباك عما فى حالة استخدام شباك التظليل التى تُعطى ٥٠٪ تظليل، كما كان متوسط الوزن الطازج والمحصول تحت هذه الشباك أعلى بنحو ١,٦، و١,٣ مثل مثيليهما — على التوالى — تحت شباك التظليل (Fukuoka وآخرون ٢٠١٩).

الإنتاج تحت المست صيفاً

أمكن إنتاج السبانخ صيفًا فى الصوبات بالاستعانة بالمست بمتوسط حجم للحبيبات قدره ١٠ ميكروميتر؛ حيث خفض ذلك من درجة الحرارة داخل الصوبة بنحو ٤,٣ °م من خلال تبخر المست. وقد ارتفعت الرطوبة النسبية بنحو ٥٪. وأدى ذلك إلى زيادة المحصول بنسبة ٣٠٪. ولم يؤثر استعمال المست فى الجو الحار على محتوى السبانخ من العناصر أو من الليوتين lutein (Tai وآخرون ٢٠٢٠).

تأثير حرارة الجذور

وُجد عندما كانت حرارة الهواء فى المجال المناسب (١٥–٢٠ °م) أن المادة الجافة الكلية فى الأجزاء الهوائية من نباتات الخس ارتبطت إيجابيًّا بحرارة الجذور، وذلك فى نظام تقنية الغشاء المغذى NFT. ويعنى ذلك أن حرارة الجذور يمكن أن تُحفِّز تراكم الكتلة البيولوجية وتوزيعها فى النبات؛ ومن ثم زيادة المحصول الخضرى (Wang وآخرون ٢٠٢٢).

تأثير ألوان الطيف

دُرس تأثير شباك التظليل الحمراء والزرقاء والرمادية على جودة أوراق السبانخ البيبى — المنتجة فى مزرعة مائية — عند الحصاد، وبعد التخزين على ٤ °م لمدة ١٠ أيام، وكانت النتائج، كما يلى:

١- أعطت معاملة الشباك الحمراء أعلى محصول.

٢- كانت نسبة المادة الجافة أعلى جوهريًّا فى معاملة الشباك الزرقاء (٩,٣٪)، مقارنة بالنسبة فى معاملتى الشباك الحمراء (٧,٣٪)، والرمادية (٦,٣٪).

٣- كان محتوى الفينولات بالأوراق البيبى الطازجة — مُقدرة بمليجرامات مُكافئات حامض الجالك gallic acid/ ١٠٠ جم وزن طازج — أعلى جوهريًّا فى معاملة الشباك الحمراء (٤٨٥,٥ مجم)، مقارنة بالمحتوى فى معاملتى الشباك الزرقاء (٤٧٢,٥ مجم)، والشباك الرمادية (٣٨٧,٦ مجم)، ومعاملة الكنترول بدون شباك (٣١٦,٥ مجم).

٤- كانت قدرة تضادية الأكسدة أعلى جوهريًّا فى معاملة الشباك الحمراء.

٥- لم يؤثر لون الشباك على خصائص التذوق أو على امتلائها الرطوبى turgidity أو مظهرها عند الحصاد.

٦- حافظت السبانخ البيبى التى أُنتجت تحت الشباك الحمراء على أعلى محتوى فينولى وأعلى نشاط مضاد للأكسدة، وذلك بعد ١٠ أيام من التخزين على ٤ ْم، مع المحافظة على مظهرها كما فى معاملة الكنترول (Lara وآخرون ٢٠٢١).

تأثير زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون

أدت زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون إلى ٨٠٠ ميكرومول/مول بصفة مستمرة إلى إحداث زيادة مستمرة فى معدل البناء الضوئى للسبانخ وفى دليل المساحة الورقية LAI، بينما لم تؤثر تلك الزيادة فى تركيز الغاز على نسبة التنفس فى الظلام إلى البناء الضوئى نهارًا، وهى النسبة التى ظلت ثابتة، كما لم تحدث أقلمة للأوراق على زيادة تركيز الغاز. ولقد أدى التأثير ذات الفائدة المركبة لزيادة تركيز الغاز إلى إحداث زيادة جوهرية فى الكتلة البيولوجية (Nomura وآخرون ٢٠٢١).

التحكم فى التسميد الآزوتى لتحسين النمو وخفض محتوى النترات

وُجد أن أفضل تركيز للنيتروجين فى المحلول المغذى للمزارع المائية للسبانخ هو ٨ مللى مول/لتر. كما وُجد أن جذور السبانخ وأوراقها ازدهرت أكثر بعد وقف التسميد

بالنيتروجين لفترة قصيرة، ثم إعادة التسميد. أدى ذلك — كذلك — إلى خفض محتوى النترات بالأوراق (Li وآخرون ٢٠٢٣).

مُعاملات تحسين القيمة الغذائية

أدى تعريض نباتات السبانخ لشدٍّ ملحى معتدل (١٠/٢٠ مللى مول كلوريد صوديوم/ كلوريد كالسيوم) إلى زيادة محتوى الأوراق من الفلافونويدات والكاروتينويدات، والقدرة على الاختزال، وذلك عندما كان ذلك مُصاحبًا بالتغذية بمحلول هوجلند المغذى. ويُستدل من الدراسة أن القيمة الغذائية للسبانخ يمكن أن تتحسن مع انخفاض بسيط — فقط — أو معتدل فى المحصول، وذلك بتعريض النباتات لخفض فى معدل التسميد أو لشدٍّ ملحى معتدل (Xu & Mou ٢٠١٦).

معاملات الحد من انتشار الإصابات المرضية فى المحاليل المغذية

يتراوح pH المحاليل المغذية — عادة — بين ٥,٥، و٦,٥، ويؤدى خفض الـ pH إلى أقل من ٥,٠ إلى الحد من انتشار مسببات الأمراض فى تلك المحاليل؛ ومن ثم الحد من انتشار الإصابات المرضية فى المزارع المائية للسبانخ. هذا.. إلاّ إن خفض pH المحلول المغذى إلى ٤,٠ أو ٤,٥ أو ٥,٠ أحدث خفضًا كبيرًا فى النمو النباتى، وضعفًا فى النمو الجذرى. وأظهر تحليل العناصر أن ضعف النمو النباتى كان مرده إلى ضعف امتصاص النباتات لمختلف العناصر (N، و P، K، و Mg، و S، وCu، و Fe، و Mn، و Zn). هذا.. إلاّ إنه بزيادة تركيز المحلول المغذى إلى ثلاثة أضعاف التركيز الطبيعى (ليصبح ذات EC = ٣,٤ ديسى سيمنز/م مع pH: ٤,٥) حدثت زيادة كبيرة فى امتصاص جميع العناصر باستثناء المغنيسيوم والزنك اللذان كان امتصاصهما أقل قليلاً مما فى نباتات الكنترول (ذات الـ EC: ١,٤ ديسى سيمنز/م مع pH: ٥,٥)؛ بما يعنى أن زيادة تركيز المحلول المغذى قد تُحسِّن النمو النباتى فى الـ pH المنخفض الذى لا يناسب انتشار مسببات الأمراض (Gillespie وآخرون ٢٠٢١).

الشبت والكسبرة

تأثير الإضاءة على المحصول، والجودة، والقيمة الغذائية

دُرس تأثير الإضاءة الإضافية وألوان الطيف على الجودة والقيمة الغذائية لكلٍ من الشبت والكسبرة. ولقد أحدثت الإضاءة الإضافية زيادة بمقدار ٢ ضعف فى تركيز الـ myristicin فى الشبت، بينما أدى الضوء الأحمر إلى الأزرق بنسبة ٣٠: ٧٠ إلى زيادة محتوى الـ dillapiole بنسبة ٨٩٪ فى الشبت والكسبرة، مقارنة بتركيزة فى معاملة الكنترول التى استعمال فيها لمبات الصوديوم HPS فى الإضاءة. كذلك ازداد الـ quercetin بمقدار ٢,٨ ضعف فى الشبت عندما كانت الإضاءة بالضوء الأحمر والأزرق بنسبة ٣٠ : ٧٠، مقارنة بنباتات الكنترول. كذلك ازداد الـ myrcene فى الشبت والكسبرة فى حالة الضوء الأحمر والأزرق بنسبة ٣٠ : ٧٠، مقارنة بالكنترول (Litvin وآخرون ٢٠٢٠).

ولقد كانت الكتلة البيولوجية، ودليل الكلوروفيل، ومحتوى حامض الأسكوربك لنباتات الكسبرة أعلى جوهريًّا فى معاملات إضاءة أحمر: أزرق (بنسبة ٨٧: ١٣)، وأحمر: أزرق: تحت أحمر بنسبة (٨١,٥: ١٢,٥ : ٦)، عما فى معاملات إضاءة بالأحمر فقط أو بالأزرق فقط أو بالأخضر فقط. ولقد كانت أعلى تضادية للأكسدة وأعلى محتوى من الفينولات الكلية فى الضوء الأزرق. أما أعلى محتوى فينولى/نبات فكان فى معاملة الإضاءة بالأحمر والأزرق وتحت الأحمر (بنسبة ٨١,٥: ١٢,٥: ٦) بسبب زيادة معدل النمو النباتى والكتلة البيولوجية المنتجة/نبات فى تلك المعاملة. هذا ولم يكن لاحتراق قمة الأوراق فى الكسبرة علاقة بمحتوى النمو الخضرى من الكالسيوم (Nguyen وآخرون ٢٠٢٠).

الشيكوريا

المحاليل المغذية

وُجد فى دراسة على الشيكوريا أن أفضل تركيز للحديد فى المحلول المغذى فى مزارع تقنية الغشاء المغذى تراوح بين ٢,٧، و ٨,٣ مجم/لتر، وأن تركيز ٢٥ مجم/لتر كان سامًّا للنباتات (Filho وآخرون ٢٠١٥).

الأمارنث

تأثير الإضاءة وألوان الطيف

وُجد أن الإضاءة الإضافية من لمبات اللِد للأمارنث لمدة ثمانية أيام بالضوء الأحمر مع الأزرق بنسبة ٧٠ : ٣٠ بشدة ٢٨٠ ميكرومول/م^{٢} فى الثانية ولمدة ١٦ ساعة حفّزت زيادة فى كمية المحصول الطازج، وفى محتوى الأوراق من كلوروفيل أ، وب، والكاروتينويدات الكلية، والأنثوسيانين، وفيتامين ج والقدرة الكلية على تضادية الأكسدة بكل من الأمارنث الأحمر والأخضر (Meas وآخرون ٢٠٢٠).

المشروم

بيئات الزراعة وتعقيمها

يكثر فى الصين استخدام مخلفات (قشور) بذور قطن محول وراثيًّا بالجين Bt من *Bacillus thuringensis*. ولقد وُجد أن سُم الـ Bt ظل موجودًا فى مخلفات البذور بعد معاملتها بالـ carbendazol، ولكن ليس بعد تسخينها إلى ١٠٠ °م، وذلك قبل استعمالها فى زراعة المشروم المحارى *Pleurotus ostreatus*. هذا.. إلاّ إن سُم الـ Bt فى مخلفات البذور التى عُومِلت بالـ carbendazol انخفض إلى مستوى ما دون حدود كشفه، وهو ١,٥ نانوجرام من Cry 1Ac/جم وزن طازج. وبالتالى.. لم ينتقل سُم الـ Bt من مخلفات بذور القطن المحول وراثيًّا إلى المشروم (Jiang وآخرون ٢٠٠٧).

ولقد أمكن تعقيم بيئات المشروم المحارى (قشور بذور القطن cottonseed hull، وقش الأرز) بالغمر فى محلول من ثانى أكسيد الكلورين ClO_2 بتركيز ٤ مل/لتر لمدة ٣٠ دقيقة؛ حيث أعطت هذه المعاملة أعلى محصول، وأعلى كفاءة بيولوجية (Atila ٢٠٢٠).

مصادر الكتاب

حسن، أحمد عبدالمنعم (١٩٨٨). أساسيات إنتاج الخضر وتكنولوجيا الزراعات المكشوفة والمحمية (الصوبات). الدار العربية للنشر والتوزيع — القاهرة ٩٢٠ صفحة.

حسن، أحمد عبدالمنعم (١٩٩٩). تكنولوجيا الزراعات المحمية. المكتبة الأكاديمية — القاهرة — ٥٣٥ صفحة.

حسن، أحمد عبدالمنعم (٢٠١٢). أصول الزراعة المحمية — الدار العربية للنشر والتوزيع — القاهرة — ٨٣٦ صفحة.

السعدون، عبدالله بن عبدالرحمن (٢٠١٩أ). أساسيات الإنتاج فى البيوت المحمية. دار جامعة الملك سعود للنشر — الرياض — المملكة العربية السعودية — ٥٤٦ صفحة.

السعدون، عبدالله بن عبدالرحمن (٢٠١٩ ب). تطبيقات إنتاج محاصيل الخضر فى البيوت المحمية. دار جامعة الملك سعود للنشر — الرياض — المملكة العربية السعودية — ٤٣٣ صفحة.

السعدون، عبدالله بن عبدالرحمن (٢٠١٩ج). الزراعة المحمية المستدامة والتطورات الحديثة فى نظم الزراعة فى البيوت المحمية. دار جامعة الملك سعود للنشر — الرياض — المملكة العربية السعودية — ٢٨٥ صفحة.

Abd El-Al, H. A. et al. 2018. Evaluation of new greenhouse covers with modified light regime to control cotton aphid and cucumber (*Cucumis sativus* L.) productivity. Crop Prod. 107: 64-70.

Affandi, F. Y. et al. 2020. Far-red light during cultivation induces postharvest cold tolerance in tomato fruit. Postharvest Biol. Technol. 159.

Ahmadi, L., X. Hao, and R. Tsao. 2018. The effect of greenhouse covering materials on phytochemical composition and antioxidant capacity of tomato cultivars. J. Sci. Food Agr. 98 (12).

Albornoz, F. and J. H. Lieth. 2016. Daily macronutrient uptake patterns in relation to plant age in hydroponic lettuce. J. Plant Nutr. 39 (10): 1357-1364.

Alfosea-Simón, M. et al. 2020. Effect of foliar application of amino acids on the salinity tolerance of tomato plants cultivated under hydroponic system. Sci. Hort. 272.

Alves, C. M. L. et al. 2022. Artificial shading can adversely affect heat-tolerant lettuce growth and taste, with concomitant changes in gene expression. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 147 (1).

Ameri, A. et al. 2020. Flowering times and some growth indicators of strawverry were affected by physical properties of the growing media. Sci. Hort. 272.

Appolloni, E. et al. 2023. Potential application of pre-harvest LED interlighting to improve tomato quality and storability. Postharvest Biol. Technol. 195.

Arancon, N. Q., J. D. Owens, and C. Converse. 2019. The effects of vermicompost tea on the growth and yield of lettuce and tomato in a non-circulating hydroponics system. J. Plant Nutr. 42 (19): 2447-2458.

Ashraf, A. et al. 2021. Development and evaluation of nutrient reuse system in soilles media grown cucumber under protected cultivation. J. Plant Nutr. 44 (9): 1241-1257.

Astolfi, S. et al. 2020. Preliminary evaluation of eggshells as a source of phosphate on hydroponically grown tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings. J. Plant Nutr. 43 (12): 1852-1861.

Atila, F. 2020. Chlorine dioxide as an alternative disinfectant for disinfection of oyster mushroom growing media. J. Hort. Sci. Biotechnol. 95 (1): 121-127.

Atsushi, O. et al. 2021. Establishment of a cultivation method for leaf lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*) and komatsuna (*Brassica rapa* var.

pervidis) with high zinc content for patients with zinc deficiency and evaluation of its effectiveness. J. Sci. Food Agr. 101 (8): 3202-3207.

Atzori, G. et al. 2019. Seawater potential use in soilless culture: a review. Sci. Hort. 249: 199-207.

Augirre-Becerra, H. et al. 2020. Effect of extended photoperiod with a fixed mixture of light wavelengths on tomato seedlings. HortScience 55 (11): 1832-1839.

Bantis, F. et al. 2018. Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). Sci. Hort. 235: 437-451.

Bantis, F. et al. 2020. Biochromatic red and blue LEDs during healing enhance the vegetative growth and quality of grafted watermelon seedlings. Sci. Hort. 261.

Bárcena, A. et al. 2019. Shade cloths and polyethylene covers have opposite effects on tipburn development in greenhouse grown lettuce. Sci. Hort. 249: 93-99.

Beacham, A. M. et al. 2019. Vertical farming: a summary of approaches to growing skywards. J. Hort. Sci. Biotechnol. 94 (3): 277-283.

Bergstrand, K. J. 2022. Organic fertilizers in greenhouse production systems - a review. Sci. Hort. 295.

Bryla, D. R. and C. F. Scagel. 2014. Limitations of $CaCl_2$ salinity to shoot and root growth and nutrient uptake in 'Honeoye' strawberry (*Fraagaria* × *ananassa* Duch). J. Hort. Sci. Biotechnol. 89 (4): 458-470.

Caliskan, M. E. et al. 2020. Comparison of aeroponics and conventional potato mini tuber production systems at different plant densities. Potato Res. 64: 41-53.

Canul-Tun, C. E. et al. 2017. Influence of colored plastic mulch on soil temperature, growth, nutritional status, and yield of bell pepper under shade house conditions. J. Plant Nutr. 40 (8): 1083-1090.

Chen, Z. et al. 2021. Functional growth, photosynthesis and nutritional property analyses of lettuce grown under different temperature and light intensity. J. Hort. Sci. Biotechnol. 96 (1): 53-61.

Chen, Y. et al. 2021. Low UVA intensity during cultivation improves the lettuce shelf-life, an effect that is not sustained at higher intensity. Postharvest Biol. Technol. 172.

Chen, X. L. et al. 2022. Alternating red and blue irradiation affects carbohydrate accumulation and sucrose metabolism in butterhead lettuce. Sci. Hort. 302.

Chen, W. L., and C. J. Shen. 2022. Near-infrared reflective diffusion coating is benefical for asparagus summer production in a simple plastic greenhouse. HortScience 57 (2).

Claypool, N. B. and J. H. Lieth. 2020. Physiological responses of pepper seedlings to various ratios of blue, green, and red light using LED lamps. Sci. Hort. 268.

Claypool, N. B. and J. H. Lieth. 2021. Modeling morphological adaptations of bell pepper (*Capsicum annuum*) to light spectra. Sci. Hort. 285.

Cui, B. J. et al. 2020. Response of yield and nitrogen use efficiency to aerated irrigation and N application rate in greenhouse cucumber. Sci. Hort. 265.

Darras, A. I. et al. 2020. Low doses of UV-C irradiation affects growth, fruit yield and photosynthetic activity of tomato plants. Sci. Hort. 267.

Diaz-Perez, J. C. 2014. Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) crop as affected by shade level: fruit yield, quality, and postharvest attributes, and incidence of phytophthora blight (caused by *Phytophthora capsici* Leon.). HortScience 49 (7): 891-900.

Diaz-Pérez, J. C. and K. St. John. 2019. Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under colored shade nets: plant growth and physiological resposes. HortScience 54 (10): 1795-1801.

Diaz-Pérez, J. C. et al. 2020. Bell pepper (*Casicum annuum* L.) under colored shade nets: fruit yield, postharvest transpiration, color, and chemical composition. HortScience 55 (2): 181-187.

Djidonou, D. and D. I. Leskovar. 2019. Seasonal changes in growth, nitrogen nutrition, and yield of hydroponic lettuce. HortScience 54 (1): 76-85.

Dunn, B. L. et al. 2022. Growth and flowering of greenhouse-grown tomato transplants in response to unicoazole. HortScience 32 (6).

Dzakovich, M. P., C. Gómez, M. G. Ferruzzi, and C. A. Mitchell. 2017. Chemical and sensory properties of greenhouse tomatoes remain unchanged in response to red, blue, and far red supplemental light from light-emitting diodes. HortScience 52 (12): 1734-1741.

Fennel, J. T. et al. 2019. Direct effect of protective cladding material on insect pests in crops. Crop Prot. 121: 147-156.

Filho, B. C. et al. 2015. Common chicory performance as influenced by iron concentration in the nutrient solution. J. Plant Nutr. 38 (10): 1489-1494.

Filho, J. B. da S. et al. 2020. Yield of potato minitubers under aeroponics, optimized for nozzle type and spray direction. HortScience 55 (1): 14-22.

Forges, M. et al. 2018. Impact of UV-C radiation on the sensitivity of three strawberry plant cultivars (*Fragaria* × *ananassa*) against *Botrytis cinerea*. Sci. Hort. 240: 603-613.

Forges, M. et al. 2020. Impact of UV-C radiation applied during plant growth on pre-and postharvest disease sensitivity and fruit quality of strawberry. Plant Dis. 104.

Frey, C. J. et al. 2020. High tunnel and grafting effects on organic tomato plant disease severity and root-knot nematode infestation in a subtropical climate with sandy soils. HortScience 55 (1): 46-54.

Fukuoka, N. et al. 2019. Yield improvement of spinach (*Spinacia oleracea* L.)in summer culture through use of a new kind of infrared-cuttin net. J. Hort. Sci. Biotechnol. 94 (1): 110-117.

Gangadhar, B. H. et al. 2012. Comparative study of color, pungency, and biochemical composition in chili pepper (*Capsicum annuum*) under different light-emitting diode treatments. HortScience 47 (12): 1729-1735.

Garcia, C. and R. G. Lopez. 2020. Supplemental radiation quality influences cucumber, tomato, and pepper transplant growth and development. HortScience 55 (6): 804-811.

Ge, J. et al. 2021. Combined effects of ventilation and irrigation on temperature, humidty, tomato yield, and quality in the greenhouse. HortScience 56 (9).

Gilardi, G. et al. 2022. The effects of biological control agents, potassium phosphate and calcium oxide on race 1 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* of lettuce in closed soilles cultivation systems. J. Phytopathol. 170 (9): 626-634.

Gillespie, D. P. et al. 2021. High nutrient concentrations of hydroponic

solution can improve growth and nutrient uptake of spinach (*Spinacia oleracea* L.) HortScience 55 (6).

Gisbert-Mullor, R. et al. 2023. Rootstock-mediated physiological and fruit set responses in pepper under heat stress. Sci. Hort. 309.

Gomah, H. H. et al. 2020. Utilization of some organic wastes as growing media for lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants. J. Plant Nutr. 43 (14): 2092-2105.

Gómez, S. and C. Gómez. 2022. Evaluating the use of biostimulants for indoor hydroponic lettuce production. HortTechnology 32 (4).

Gómez, C. and J. Jiménez. 2020 Effect of end-of-production high-energy radiation on nutritional quality of indoor-grown red-leaf-lettuce. HortScience 55 (7): 1055-1060.

Gómez, C. and C. A. Mitchell. 2016. Physiological and productivity responses of high-wire tomato as affected by supplemental light source and distribution within the canopy. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 141 (2): 196-208.

Groher, T. et al. 2019. Influence of supplementary LED lighting on physiological and biochemical parameters of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) leaves. Sci. Hort. 250: 154-158.

Grozeff, G. E. G., M. E. Senn, M. L. Alegre, A. R. Chaves, and C. G. Bartoli. 2016. Nocturnal low irradiance pulses improve fruit yield and lycopene concentration in tomato. Sci. Hort. 203: 47-52.

Guan, W. et al. 2020. Rootstock evaluation for grafted cucumbers grown in high tunnels: yield and plant growth. HortScience 55 (6): 914-919.

Gude, K. M. et al. 2022. High tunnel coverings after crop productivity and microclimate of tomato and lettuce. HortScience 57 (2).

He, W. et al. 2019. Effect of different light intensities on the photosynthate distribution in cherry tomato seedlings. J. Hort. Sci. Biotechnol. 94 (5): 611-619.

Hernández, V. et al. 2019. Interaction of nitrogen and shading on tomato yield and quality Sci. Hort. 255: 255-259.

Hernández-Salina, M. et al. 2022. Silicon enhances the tolerance to moderate NaCl-salinity in tomato grown in a hydroponic recirculating system. J. Plant Nutr. 45 (3): 413-425.

Hidaka, K. et al. 2022. Crop-local CO_2 enrichment improves strawberry yield and fuel use efficiency in protected cultivations. Sci. Hort. 301.

Hikawa, M. et al. 2019. Prediction of prospective leaf morphology in leaf lettuce based on intracellular chloroplast position. Sci. Hort. 251: 20-24.

Homma, M. et al. 2022. Dry matter production and fruit sink strength affect fruit set ratio of greenhouose sweet pepper. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 147 (5).

Ibrahim, A. 2020. Imporvement in growth, yield, and fruit quality of three red sweet pepper cultivars by foliar application of humic and salicylic acids. HortTechnology 29 (2): 170-178.

Janick, J. and H. Paris. 2022. History of controlled environment horticulture: ancient orgins. HortScience 57 (2).

Janisiewicz, W. J. et al. 2016. Dark period following UV-C treatment enhances killing of *Botrytis cinerea* conidia and controls gray mold of strawberries. Phytopathology 106 (4): 386-394.

Jiang, L. et al. 2007. The fate of Cry1Ac Bt toxin during oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) cultivation on transgenic Bt cottonsedd hulls. J. Food Sci. Agr. 88 (2): 214-217.

Jiang, C. et al. 2017. Photosynthesis, plant growth, and fruit production of singl-truss tomato improves with supplemental lighting provided from underneath or within the inner canopy. Sci. Hort. 222: 221-229.

Jiao, X. et al. 2022. Effects of rising VPD on the nutrient uptake, water status and photosynthetic system of tomato plants at different nitrogen applications under low temperature. Sci. Hort. 304.

Jishi, T. et al. 2016. Effects of temporally shifted irradiation of blue and red LED light on cos lettuce growth and morpholoty. Sci. Hort. 198: 227-232.

Joshi, N. C. et al. 2019. Effects of daytime intra-canopy LED illumination on photosynthesis and productivity of bell pepper grown in protected cultivation. Sci. Hort. 250: 81-88.

Kaiser, E. et al. 2019. Partial replacement of red and blue by green light increases biomass and yield in tomato. Sci. Hort. 249: 271-279.

Kadir, S., E. Carey, and S. Ennahli. 2006a. Influence of high tunnel and field conditions on strawberry growth and development. HortScience 41 (2): 329-335.

Kang, S. et al. 2018. Ultraviolet-A radiation stimulates growth of indoor cultivated tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings. HortScience 53 (10): 1429-1433.

Karami, A. et al. 2022. Evaluation of some chemical/biochemical compounds of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) to the quality of radiant light in floating system. Sci. Hort. 304.

Kelly, N. et al. 2020. Promotion of lettuce growth under an increasing daily light integral depends on the combination of the photosynthetic photon flux density and photoperiod. Sci. Hort. 272.

Khan, S. et al. 2021. Hydroponics: current and future state of the art in farming. J. Plant Nutr. 44 (10): 1515-1538.

Kilic, C. C. 2022. Effect of nitrogen and planting dates on yield and yield components of head lettuce grown in soilless culture. J. Plant Nutr. 45 (20): 3159-3173.

Kim, H. J. et al. 2020. Supplemental intercanopy far-red radiation to red LED light improves fruit quality attributes of greenhouse tomatoes. Sci. Hort. 261.

Kitta, E., N. Katsoulas, A. Kandila, M. M. González-Real and A. Baille. 2014. Photosynthetic acclimation of sweet pepper plants to screenhouse conditions. HortScience 49 (2): 166-172.

Klaring, H. P. and T. Ramirez. 2018. Interrupted dark phase does not affect greenhouse tomato growth and yield. Sci. Hort. 240: 221-223.

Kontopoulou, C. K. et al. 2015. Responses of hydroponically grown common bean fed with nitrogen-free nutrient solution to root inoculation with N_2-fixing bacteria. HortScience 50 (4): 597-602.

Kowalczyk, K. et al. 2020. Mineral nutrients needs of cucumber and its yield in protected winter cultivation, with HPS and LED supplementary lighting. Sci. Hort. 265.

Kubota, C., T. Eguchi, and M. Kroggel. 2017. UV-B radiation dose requirement for suppressing intumescence injury on tomato plants. Sci. Hort. 226: 366-371.

Lang, K. M. et al. 2020. Cultivar selection and placement of shadecloth on Midwest high tunnels affects colored pepper yield, fruit quality, and plant growth. HortScience 55 (4): 550-559.

Lanoue, J. et al. 2022. Addition of green light improves fruit weight and

dry matter content in sweet pepper due to greater light penetration within the canopy. Sci. Hort. 304.

Lara, O. A., A. Amorós, M. L. Tapia, and V. H. Escalona. 2021. Effect of a photoselective filter on the yield and postharvest quality of ‘Virofly’ baby spinach (*Spinacia oleracea* L.) leaves cultivated in a hydroponic system. Sci. Hort. 277.

Li, T., G. Bi, J. LeCompte, T. C. Barickman, and B. B. Evans. 2017. Effect of colored shadecloth on the quality and yield of lettuce and snapdragon. HortTechnology 27 (6): 860-867.

Li, Y. et al. 2020. Design of an air blowing device above seedbed: the effect of air disturbance on the microenvironment and growth of tomato seedlings. HortScience 55 (8): 1308-1314.

Li, S. et al. 2020. Effects of CO_2 enrichment on non-structural carbohydrate metabolism in leaves of cucumber seedlings under salt stress. Sci. Hort. 265.

Li, L. et al. 2020. Lettuce growth, nutritional quality, and energy use efficiency as affected by red-blue light combined with diffrenet monochromatic wavelengths. HortScience 55 (5): 613-620.

Li, J. et al. 2023. The impact of short-term nitrogen starvation and replenishment on the nitrate metabolism of hydroponically grown spinach. Sci. Hort. 309.

Liang, Y. et al. 2021. Red/blue light ratios induce morphology and physiology alterations differently in cucumber and tomato. Sci. Hort. 281.

Lin, K., Z. Huang, and Y. Xu. 2018. Influence of light quality and intensity on biomass and biochemical contents of hydroponically grown lettuce. HortSicence 53 (8): 1157-1163.

Litvin, A. G. et al. 2020. Effects of supplemental light source on basil, dill, and parsley growth, morphology, and flavor. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 145 (1).

Lu, N. et al. 2015. Control of vapor pressure deficit (VPD) in greenhouse enhanced tomato growth and productivity during the winter season. Sci. Hort. 203: 17-23.

Liu, H. et al. 2018. Effect of green, yellow and purple radiation on biomass, photosynthesis, morphology and soluble sugar content of leafy lettuce via spectral wavebands "knock out". Sci. Hort. 236: 10-17.

Maltas, A. S. et al. 2022. Monitoring the effets of pH and EC regulated drip fertigation on microbial dynamics of calcareous soil in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivation under greenhouse conditions in a Mediterranean climate. Sci. Hort. 306.

Mariz-Ponte, N. et al. 2019. The potential use of the UV-A and UV-B to umprove tomato quality and preference for consumers. Sci. Hort. 246-777-784.

Martinez, F. et al. 2017. Influence of growth medium on yield, quality indexes and SPAD values in strawberry plants. Sci. Hort. 217: 17-27.

Masbani, J., Y. Sun, G. Niu, and P. Del Valle. 2016. Shade effect on growth and productivity of tomato and chili pepper. HortTechnology 26 (3): 344-350.

Maughan, T. L., B. L. Black. and D. Drost. 2015. Critical temperature for sub-lethal cold injury of strawberry leaves. Sci. Hort. 183: 8-12.

Meas, S. et al. 2020. Enhancing growth and phytochemicals of two amaranth microgreens by LEDs light irradiation. Sci. Hort. 265.

Meena, L. L. et al. 2022. Effect of foliar application of potassium with aquaculture wasterwater on the growth of okra (*Abelmoschus esculentus*) and *Pangasiandon hypophthalmus* in recirculating aquaponic system. Sci. Hort. 302.

Miao, Y. et al. 2019. Blue light alleviates 'red light syndrome' by regulating chloroplast ultrastructure, photosynthetic traits and nutrient accumulation in cucumber plants. Sci. Hort. 257.

Mitchell, C. A. 2022. History of controlled environment horticulture: indoor farming and its key technologies. HortScience 57 (2).

Mohawesh, O. et al. 2022. Effect of controlled shading nets on the growth and water use effiency of sweet pepper grown under semi-arid conditions. HortTechnology 32 (1).

Morales, I. et al. 2018. Production and quality of *Physalis ixocarpa* Brot. fruit under colored shade netting. HortScience 53 (6): 823-828.

Nabati, J. et al. 2021. Lowering medium pH improves tolerance of tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants to long-term salinity exposure J. Plant Nutr. 41 (13): 1853-1868.

Nemali, K. 2022. History of controlled environment horticulture: greenhouses. HortScience 57 (2).

Neocleous, D. and D. Savvas. 2013. Response of hydroponically-grown strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) plants to different ratios of K: Ca : Mg in the nutrient solution. J. Hort. Sci. Biotechnol. 88 (3): 293-300.

Ngcobo, B. L., I. Bertling, and A. D. Clulow 2020. Preharvest illumination of cherry tomato reduces ripening period, enhances fruit

carotenoid concentration and overall fruit quality. J. Hort. Sci. Biotechnol. 95 (5): 617-627.

Nguyen, D. T. P. et al. 2020. Improving secondary metabolite accumulation, mineral content, and growth of coriander (*Coriandrum sativum* L.) by regulating light quality in a plant factory. J. Hort. Sci. Biotechnol. 95 (3): 356-363.

Nguyen, C. D. et al. 2022. Performance of different lettuce cultivars grown hydroponically under fluorescent and light-emitting diode light growth conditions. HortScience 57 (11).

Nomura, K. et al. 2021. Long-term compound interest effect of CO_2 enrichment on the carbon balance and growth of a leafy vegetable canopy. Sic. Hort. 283.

Nomura, K. et al. 2023. Estimation of the optimal leaf area index (LAI) of an eggplant canopy based on the relationship between the nighttime respiration and daytime photosynthesis of the lowermost leaves. Sci. Hort. 307.

Ntsoane, L. L. M., P. Soundy, J. Jifon, and D. Sivakumar. 2016. Variety-specific responses of lettuce grown under the different-coloured shade nets on phytochemical quality after postharvest storage. J. Hort. Sci. Biotechnol. 91 (5): 520-528.

Ohta, K. and R. Makino. 2019. Stem direction affects the fruit yield, plant growth, and physiological characteristics of a determinate-type processing tomato (*Solanum lycopersium* L.). Sci. Hort. 244: 102-108.

Ohtake, N. et al. 2018. Continous irradiation with alternating red and blue light enhances plant growth while keeping nutritional quality in lettuce. HortScience 53 (12): 1804 – 1809.

Onofre, R. B. et al. 2022. UV-transmitting plastics reduce powdery mildew in strawberry tunnel production. Plant Dis. 106 (9): 2455-2461.

Orsini, F. et al. 2018. Hydroponic lettuce yields are improved under salt stress by utilizing white plastic film and exogenous applications of proline. Sci. Hort. 233: 283-293.

Ouhibi, C. et al. 2015. Effect of UV-C readiation on resistance of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L.) against *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia minor*. J. Phytopathol. 163: 578-582.

Owen, W. G. and R. G. Lopez. 2015. End-of production supplemental lighting with red and blue light-emitting diodes (LEDs) influences red pigmentation of four lettuce varieties. Hort Science 50 (5): 676-684.

Pan, T. et al. 2019. Interaction of supplementary light and CO_2 enrichment improves growth, photosynthesis, yield, and quality of tomato in autumn through spring greenhouse production. HortScience 54 (2): 246-252.

Pattillo, D. A. et al. 2020. Performance of aquaculture effluent for tomato production in outdoor raised beds. HortTechnology 30 (5): 624-631.

Pennisi, G. et al. 2020. Optimal light intensity for sustainable water and energy use in indoor cultivation of lettuce and basil under red and blue LEDs. Sci. Hort. 272.

Pérez-López, U. et al. 2015. Growth and nutritional quality improvement in two differently pigmented lettuce cultivars under elevated CO_2 and/or salinity. Sci. Hort. 195: 56-66.

Petropoulas, S. A. et al. 2019. The effect of covering material on the yield, quality and chemical composition of greenhouse-grown tomato fruit. J. Sci. Food Agr. 99 (6).

Pimento, T. M. et al. 2022. Action of high concentration of carbon dioxide on size and ripening of tomato fruit. Sci. Hort. 304.

Piñeo, M. C. et al. 2021. Reducing extreme weather impacts in greenhouses: the effect of a new passive climate control system on nutritional quality of pepper fruits. J. Sci. Food Agr. 102 (7): 2723-2730.

Prinzenberg, A. E. et al. 2021. Genetic mapping of the tomato quality traits brix and blossom-end rot under supplemental LED and HPS lighting conditions. Euphytica 217.

Pozo, J. et al. 2015. Effects of silicon in the nutrient solution for three horticultural plant families on the vegetable growth, cuticle, and protection against *Botrytis cinerea*. HortScience 50 (10): 1447-1452.

Puccinelli, M. et al. 2019. Effect of selenium entrichment on metabolism of tomato (*Solanum lucopersicum*) fruit during postharvest ripening. J. Sci. Food Agr. 99 (5).

Qian, T., J. A. Dieleman, A. Elings, A. de Gelder, and L. F. M. Marcelis. 2015. Response of tomato crop growth and development to a vertical temperature gradient in a semi-closed greenhouse. J. Hort. Sci. Biotechnol. 90 (5): 578-584.

Qian, M. et al. 2020. UV-A light induces a robust and dwarfed phenotype in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) without affecting fruit yield. Sci. Hort. 263.

Rana, T. S. and S. Gu. 2020. Growth and yield of organic day-neutral strawberries in low tunnels inside high tunnel in North Carolina. HortScience 55 (3): 336-343.

Reitz, N. et al. 2021. Differential effects of excess calcium applied to whole plants va. excised tissue on blossom-end rot in tomato. Sci. Hort. 290.

Retana-Cardero, M. et al. 2022. Effect of radiation quality and relative humidity on intumescence injury and growth of tomato seedlings. HortScience 57 (10).

Rho, H. et al. 2020. Yields, fruit quality, and water use in a Jalapeno pepper and tomatoes under open field and high-tunnel production systems in the Texas High Plains. HortScience 55 (10): 1632-1641.

Rodriguez, M. H. et al. 2018. Efficacy of electrolytically-derived disinfectant against dispersal of *Fusarium oxysporum* and *Rhizoctonia* solani in hydroponic tomatoes. Sci. Hort. 234: 116-125.

Romanatti, P. V. et al. 2019. Limitation to photosynthesis in leaves of eggplant under UVB according to anatomical changes and alterations on the antioxidant system. Sci. Hort. 249: 449-454.

Rosseto, M. et al. 2019. Starch-gelatin film as an alternative to the use of plastics in agriculture: a review. J. Sci. Food Agr. 99 (15).

Ruangrak, E. and W. Khummueng. 2019. Effects of artificial light sources on accumulation of phytochemical contents in hydroponic lettuce J. Hort. Sci. Biotechnol. 94 (3): 378-388.

Sabatino, L. et al. 2021. Selenium biofortifcation and grafting modulate plant performance and functional features of cherry tomato grown in soilless system. Sci. Hort. 285.

Sahin, O. 2021. Combined biofortification of soilless grown lettuce with iodine, selenium and zinc and tis elemental composition. J. Plant Nutr. 44 (5): 673-678.

Sahin, S. and S. D. Seckin. 2022. Effects of different LED light and nitrogen application on growth of lettuce plants and leaf nitrate content. J. Plant Nutr. 45 (16): 2523-2533.

Samarakoon, U. et al. 2020. Effects of electrical conductivity, pH, and foliar application of calcium chloride on yield and tipburn of *lactuca sativa* grown using the nutrient-film technique. HortScience 55 (8): 1265-1271.

Shaik, A. et al. 2022. Liquid organic fertilizer effects on growth and biomass of lettuce grown in a soilless production system. HortScience 57 (3).

Shao, M. et al. 2020. Differential effects of high duration on growth, nutritional quality, and oxidative stress of hydroponic lettuce under red and blue LED irradiation. Sci. Hort. 268.

Shimomura, M. et al. 2020. Continuous blue lighting and elevated carbon dioxide concentration rapidly increase chlorogenic acid content in young lettuce plants. Sci. Hort. 272.

Shioshita, R., J. Enoka, D. K. Aiona, and A. M. Wall. 2007. Coloration and growth of red lettuce grown under UV-readiation transmitting and non-transmitting covers. Acta Hort. No. 76: 221-225.

Smolen, S., I. Ledwozyw-Smolen, M. Halka, W. Sady, and P. Kovacik. 2017. The absorption of iodine from 5-iodosalicylic acid by hydroponically grown lettuce. Sci. Hort. 225: 716-725.

Son, K. H. and M. M. Oh. 2013. Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light emitting diodes. HortScience 48 (8): 988-995.

Son, K. H., J. H. Lee, Y. Oh, D. Kim, and M.M. Oh. 2017. Growth and bioactive compound synthesis in cultivated lettuce subject to light-quality changes. HortScience 52 (4): 584-591.

Stagnari, F., A. Galieni, M. Pisante. 2015. Shading and nitrogen management affect quality, safety and yield of greenhouse-grown leaf lettuce. Sci. Hort. 192: 70-79.

Stuemky, A. and M. E. Uchanski. 2020. Supplemental light-emitting diode effects on the growth, fruit quality, and yield of two greenhouse-grown strawberry (*Fragatia* × *ananassa*) cultivars. HortScience 55 (1): 23-29.

Suthaparan, A. et al. 2016. Supperssion of powdery mildews by UV-B: application frequency and timing, dose reflectance, and automation. Plant Dis. 100 (8): 1643-1650.

Tai, C. et al. 2020. Cultivation of spinach in hot seasons using a micro-mist- based temperature-control system. Sci. Hort. 273.

Talukder, Md. R. et al. 2020. Electro-degradation of culture solutaion improves growth, yield and quality of strawberry plants grown in closed hydroponics. Sci. Hort. 243: 243-251.

Tamaki, M. et al. 2020. Growth response of hydroponic leaf lettuce and komatsuna to ozone microbubble treatment. J. Plant Nutr. 43 (10): 1369-1377.

Testen, A. L. et al. 2021. On-farm evaluations of anaerobic soil disinfestations and grafting for management of a widespread soil borne disease complex in protected culture tomato production. Phytopathology 111.

Thakulla, D. et al. 2022. Timing and rates of two products using hydrogen peroxide (H_2O_2) to control algae in ebb and flow hydroponic systems. HortScience 57 (1).

Thwe, A. A. et al. Impact of red and blue nets on physiological and morphological traits, fruit yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Sci. Hort. 264.

Tkachenko, O. V. et al. 2020. Improved production of high-quality potato seeds in aeroponics with plant-growth-promoting rhizobacteria. Potato Res. 64: 55-66.

Tomhati, R., S. C. Mello, P. Momesso, and R. M. Pedroso, 2020. L-proline alleviates heat stress of tomato plants grown under protected environment. Sci. Hort. 268.

Tsuchida, H. et al. 2021. Effect of micro bubble water on the growth and morphology of three leaf lettuce cultivars (*Lactuca sativa* L.) grown

under two kinds of LED irradiation. J. Hort. Sci. Biotechnol. 96 (1): 44-52.

Uno, Y., H. Okubo, H. Itoh, and R. Koyama. 2016. Reduction of leaf lettuce tipburn using an indicator cultivar. Sci. Hort. 210: 14-18.

Urban, L. et al. 2018. UV-C light and pulsed light as alternatives to chemical and biological elecitors for stimulating plant natural defenses against fungal diseases. Sci. Hort. 235. 452-459.

Vàsquez, H. et al. 2020. Hormetic doses of UV-C light decrease the susceptibility of tomato plants to *Botrytis cinerea* infection. J. Phytopathol. 168 (9).

Verdoliva, S. G. et al. 2021. Controlled comparisons between soil and hydroponic systems reveal increased water use efficiency and higher lycopene and β-carotene contents in hydroponically grown tomatoes. Sci. Hort. 279.

Wang, R., M. Eguchi, Y. Gui, and Y. Iwasaki. 2020. Evaluating the effect of light intensity on flower development uniformity in strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) under early induction conditions in forcing culture. HortScience 55 (5): 670-675.

Wang, R. et al. 2022. Root-zone temperature effects on spinach biomass production using a nutrient film technique system. HortScience 57 (4).

Weaver, G. and M. W. van Iersel. 2020. Longer photoperiods with adaptive lighting control can improve growth of greenhouse-grown 'Little Gem' lettuce (*Lactuca sativa*). HortScience 55 (4): 573-580.

Weber, N. et al. 2018. First fruit in season: seaweed extract and silicon advance organic strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) fruit formation and yield. Sci. Hort. 242: 103-109.

Weil, S. et al. 2021. Plant growth and calcium and potassium accumulation in lettuce under different nitrogen regimes of ammonium and nitrate nutrition. J. Plant Nutr. 44 (2): 270- 281.

Wortman, S. E. et al. 2016. Cultivar, growing media, and nutrient source influence strawberry yield in a vertical, hydroponic, high tunnel system. HortTechnology 26 (4): 466-473.

Xu, C. and B. Mou. 2016. Responses of spinach to salinity and nutrient deficiency in growth, physiology, and nutritional value. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 141 (1): 12-21.

Yaghubi, K. et al. 2016. Potassium silicate alleviates deleterious effects of salinity on two strawberry cultivars grown under soilless pot culture. Sci. Hort. 213: 87-95.

Yan, Z. et al. 2019. Evaluation of growth and quality of hydroponic lettuce at harvest as affected by the light intensity, photoperiod and light quality at seedling stage. Sci. Hort. 248: 138-144.

Yan, Z. et al. 2019. Growth, nutritional quality, and energy use efficiency of hydroponic lettuce as influenced by daily light integrals exposed to white versus white plus red light-emitting diodes. HortScience 54 (10): 1737-1744.

Yang, X. et al. 2018. Effect of glycine nitrogen on lettuce growth under soiless culture: a metabolomic approach to identufy the main changes

occurred in plant primary and secondary metabolism. J. Sci. Food. Agr. 98 (2): 467-477.

Yi, Z. et al. 2021. Optimization of light intensity and nitrogen concentration in solutions regulating yield, vitamic C, and nitrate content of lettuce. J. Hort. Sci. Biotechnol. 96 (1): 62-72.

Zhang, Y. et al. 2020. Elevated CO_2 improves antioxidant capacity, ion homeostasis, and polyamine metabolism in tomato seedlings under $Ca (NO_3)_2$ – induced salt stress. Sci. Hort. 273.

Zhang, G., Z. Yan, Y. Wang, Y. Feng, and Q. Yuan. 2020. Exogenous proline improve the growth and yield of lettuce with low potassium content. Sci. Hort. 271.

Zhang, et al. 2022. Effect of micro-spray on plant growth and chlorophyll fluorescence parameter of tomato under high temperature condition in a agreenhous. Sci. Hort. 306.

Zhang, W. et al. 2023. Alternate drip irrigation with moderate nitrogen fertilization improved photosynthetic performance and fruit quality of cucumber in solar greenhouse. Sci. Hort. 308.

Zheng, L., H. He, and W. Song. 2019. Application of light-emitting diodes and the effect of light quality on horticultural crops: a review. HortScience 54 (10): 1656-1661.

Zheng, L. et al. 2020 Effects of diffuse light on microclimate of solar greenhouse, and photosuynthesis and yield of greenhouse-grown tomatoes. HortScience 55 (10): 1605-1613.

Zheng, Y. et al. 2020. The interactive effects of daytime high temperature and humidity on growth and endogenous hormone concentration of tomato seedlings. HortScience 55 (10): 1575-1583.

Zhou, J. et al. 2019. Growth, photosynthesis, and nutrient uptake at different light intensities and temperature in lettuce. HortScience 54 (11):: 1925-1933.

Zushi, K., C. Suehara, and M. Shirai. 2020. Effect of light intensity and wavelemghths on ascorbic acid content and the antioxidant system in tomato fruit grown *in vitro*. Sci. Hort. 274.

المؤلف فى سطور



دكتور أحمد عبد المنعم حسن – أستاذ الخضر المتفرغ بكلية الزراعة، جامعة القاهرة – من مواليد محافظة البحيرة – جمهورية مصر العربية - ١٩٤٢.

حصل على البكالوريوس من جامعة الإسكندرية بتقدير ممتاز مع مرتبة الشرف الأولى عام ١٩٦٢، والماجستير من جامعة ولاية نورث كارولينا ١٩٦٦، والدكتوراه من جامعة كورنل بالولايات المتحدة ١٩٧٠.

عمل بالتدريس وإجراء الأبحاث العلمية فى جامعات القاهرة، والإسكندرية، وبغداد، والإمارات العربية المتحدة.

أشرف على عديد من طلبة الدراسات العليا فى جامعات القاهرة، وعين شمس، وبغداد، وشارك فى مناقشة عديد من رسائل الماجستير والدكتوراه، وفى تقييم المتقدمين للترقيات العلمية فى عديد من الجامعات المصرية والعربية.

عضو عديد من اللجان والجمعيات العلمية المحلية والعالمية.

له ٨١ مؤلفًا علميًّا وأكثر من ٩٠ بحثًا علميًّا منشورة فى الدوريات العلمية المحلية والعالمية، إضافة إلى حوالى ٢٧ نشرة إرشادية.

حصل على جائزة الدولة التشجيعية ووسام العلوم والفنون من الطبقة الأولى (أكاديمية البحث العلمى – مصر) عام ١٩٨٤، وأربع جوائز عن التأليف العلمى الزراعى (وزارة الزراعة – مصر) عام ١٩٨٤ والجائزة الأولى لندوة الثقافة والعلوم (دبى) عام ١٩٩١.

ويمكن الإطلاع على مؤلفات الدكتور/ أحمد عبدالمنعم حسن فى صفحته على جوجل، وهى:

https://sites.google.com/view/prof-ahmed-hassan-site/home